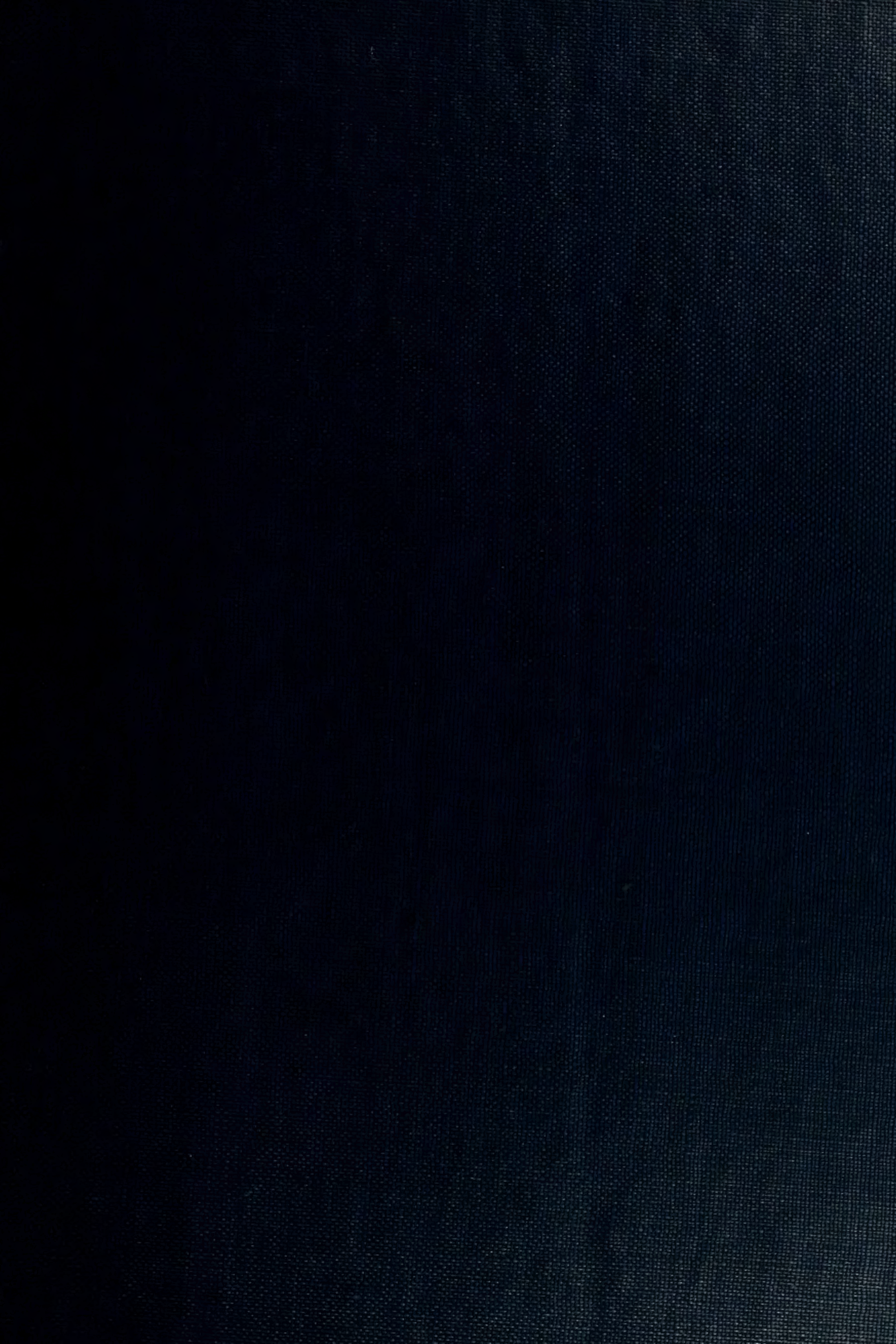


MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME XX.

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME XX.



PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 56.

1849.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS

DANS LE VINGTIÈME VOLUME

DE LA NOUVELLE COLLECTION DES MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Pages.

BIOGRAPHIE de MARIE-JEAN-ANTOINE-NICOLAS CARITAT DE CONDORCET, secrétaire perpétuel de l'ancienne Académie des sciences; par M. ARAGO.. i à cxiij

ÉLOGE HISTORIQUE d'AUBERT-AUBERT DU-PETIT-THOUARS, par M. FLOURENS, secrétaire perpétuel................................ i à xxxj

MÉMOIRE sur divers points d'Astronomie ancienne, et en particulier sur la Période sothiaque, comprenant 1460 années juliennes, de $365^{j}\frac{1}{4}$.. 1

MÉMOIRE sur les couleurs développées dans des fluides homogènes

Pages.

par la lumière polarisée, présenté à l'Académie, le 30 mars 1818; par M. Augustin Fresnel 163

Mémoire sur la réflexion de la lumière, présenté à l'Académie, le 15 novembre 1819; par M. Augustin Fresnel 195

Mémoire sur les phénomènes rotatoires opérés dans le cristal de roche; par M. Biot 221

Observations et expériences sur la circulation chez les Mollusques; par M. Milne Edwards 443

Nouvelles Observations sur la constitution de l'appareil de la circulation chez les Mollusques; par MM. Milne Edwards et Valenciennes. 485

Organographie et physiologie végétale, Mémoire sur la composition et la structure de plusieurs organismes des plantes; par MM. Mirbel et Payen 497

Considérations sur la reproduction, par les procédés de M. Niepce de Saint-Victor, des images gravées, dessinées ou imprimées; par M. E. Chevreul 533

Mémoire sur l'analogie de composition et sur quelques points de l'organisation des Échinodermes; par M. Duvernoy 579

FIN DE LA TABLE DU VINGTIÈME VOLUME.

BIOGRAPHIE

DE

MARIE-JEAN-ANTOINE-NICOLAS

CARITAT DE CONDORCET,

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ANCIENNE ACADÉMIE DES SCIENCES,

PAR M. ARAGO.

(Lue à la séance publique du 28 décembre 1841.)

Introduction.

Dans les dernières années de sa vie, Georges Cuvier daignait dérober de courts moments à d'immortelles recherches, pour rédiger quelques notes destinées à ses futurs biographes. Une de ces notes est ainsi conçue : « J'ai tant fait d'é« loges, qu'il n'y a rien de présomptueux à croire qu'on « fera le mien. » Cette remarque de l'illustre naturaliste m'a rappelé que le dernier secrétaire de l'ancienne Académie des sciences, que l'auteur de cinquante-quatre biographies d'académiciens, également remarquables par la finesse et la

profondeur, n'a pas encore reçu ici le juste tribut qui lui est dû à tant de titres. La dette remonte à près d'un demi-siècle; cela même était une raison puissante de s'acquitter sans plus de retard. Nos éloges, comme nos mémoires, doivent avoir la vérité pour base et pour objet; la vérité, en ce qui touche les hommes publics, est difficile à trouver, difficile à saisir, surtout quand leur vie s'est passée au milieu des orages de la politique. Je fais donc un appel sincère aux rares contemporains de Condorcet que la mort n'a pas encore moissonnés. Si, malgré tous mes soins, je me suis quelquefois égaré, je recevrai les rectifications (bien entendu les rectifications *motivées*) avec une profonde reconnaissance.

Vous avez peut-être remarqué que j'ai intitulé mon travail *Biographie*, et non pas, comme d'habitude, *Éloge historique*. C'est, en effet, une biographie minutieuse, détaillée que j'ai l'honneur de vous soumettre. Sans examiner, en thèse générale, ce que la direction des idées, les besoins de la science pourront exiger de vos secrétaires dans un avenir plus ou moins éloigné, j'expliquerai comment, dans cette circonstance spéciale, l'ancienne forme ne m'aurait pas conduit au but que je voulais, que je devais atteindre à tout prix.

Condorcet n'a pas été un académicien ordinaire, voué aux seuls travaux de cabinet; un philosophe spéculatif, un citoyen sans entrailles; les coteries littéraires, économiques, politiques, se sont emparées depuis longtemps de sa vie, de ses actes publics et privés, de ses ouvrages. Personne n'a eu plus à souffrir de la légèreté, de la jalousie et du fanatisme, ces trois redoutables fléaux des réputations. En traçant un portrait que je me suis efforcé

de rendre ressemblant, je ne pouvais avoir la prétention d'être cru sur parole. Si pour chaque trait caractéristique je m'étais borné à réunir, à conserver soigneusement pour moi seul, tout ce qui établissait la vérité de mes impressions, je n'aurais pas fait assez : il fallait mettre le public à même de prononcer en connaissance de cause entre la plupart de mes prédécesseurs et moi; il fallait donc combattre, visière levée, les vues fausses, mensongères, passionnées de ceux qui, d'après ma conviction intime, n'ont rien saisi de vrai et d'exact dans la grande, dans la majestueuse figure de Condorcet.

Si j'ose concevoir quelque espérance d'avoir trouvé la vérité, là où de plus habiles étaient tombés dans l'erreur, c'est que j'ai pu consulter de nombreuses pièces inédites. La fille, si distinguée, de notre ancien secrétaire; son mari, l'illustre général O'Connor, ont mis leurs riches archives à ma disposition, avec une bonté, un abandon, une libéralité dont je ne saurais assez les remercier. Beaucoup de manuscrits complets ou inachevés de Condorcet; ses lettres à Turgot; les réponses de l'intendant de Limoges, du contrôleur général des finances et du ministre disgracié; cinquante-deux lettres inédites de Voltaire; la correspondance de Lagrange avec le secrétaire de l'Académie des sciences et avec d'Alembert; des lettres du grand Frédéric, de Franklin, de mademoiselle de l'Espinasse, de Borda, de Monge, etc., tels sont les trésors que j'ai reçus de l'honorable famille de Condorcet. Voilà ce qui m'a conduit à des idées nettes et précises sur le rôle de notre confrère dans le mouvement politique, social et intellectuel de la seconde moitié du XVIIIe siècle.

A.

J'ai quelque soupçon de n'avoir pas su éviter un écueil qu'ont engendré les bontés de M. et de madame O'Connor. En parcourant les pièces qu'ils m'avaient confiées, mon esprit se reportait involontairement sur les mille accidents qui pourraient anéantir de si précieuses pages. De là est né, dans cette biographie, un luxe de citations inaccoutumé, excessif; de là, des développements étendus sur des points qui auraient pu n'être qu'indiqués. Ces inconvénients, je les ai aperçus; mais ils ont perdu de leur importance devant la pensée que j'arrachais peut-être à l'oubli, des faits, des appréciations, des jugements littéraires d'une grande valeur; ils m'ont paru, surtout, plus que compensés, par l'avantage que je trouvais à faire parler à ma place plusieurs personnages éminents du siècle dernier.

Un mot, encore, sur la longueur peu ordinaire qu'aura cette lecture, et j'aborde mon sujet.

Je ne me fais pas illusion sur l'intérêt que j'aurais à ménager davantage la bienveillante attention de mes auditeurs. Tout me disait de beaucoup retrancher, même après les nombreuses coupures que les exigences d'une lecture publique m'avaient impérieusement commandées; mais j'ai considéré que ma mission a quelque chose d'inusité, de plus solennel que de coutume : je vais, à vrai dire, procéder à la réhabilitation d'un confrère, sous le rapport scientifique, littéraire, philosophique et politique. Tout calcul d'amour-propre qui m'écarterait de ce but, serait évidemment indigne de vous et de moi.

Enfance et jeunesse de Condorcet. Ses études, son caractère, ses travaux mathématiques.

Marie-Jean-Antoine-Nicolas Caritat *de Condorcet,* ancien secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, naquit le 17 septembre 1743, en Picardie, dans la petite ville de *Ribemont,* qui déjà avait donné à l'Académie l'ingénieur Blondel, à jamais célèbre par la construction de la porte Saint-Denis. Le père de Condorcet, M. Caritat, capitaine de cavalerie, originaire du Dauphiné, était le frère cadet du prélat qu'on vit successivement, à partir de 1741, évêque de Gap, d'Auxerre et de Lisieux. Il avait aussi d'étroites liaisons de parenté avec le cardinal de Bernis et le fameux archevêque de Vienne, M. d'Yse de Saléon, celui-là même qui, encore évêque de Rhodès, fit tant parler de lui pendant le concile d'Embrun, à cause de son très-vif attachement pour les jésuites.

Condorcet atteignait à peine sa quatrième année, quand il perdit son père. La veuve du capitaine Caritat, Mlle de Gaudry, était d'une dévotion très-ardente. Elle imagina qu'un moyen infaillible de soustraire son fils unique aux premiers dangers de l'enfance, serait de le vouer à la Vierge et au blanc. Condorcet porta durant huit années le costume de jeune fille. Cette circonstance bizarre, en lui interdisant certains exercices du corps, nuisit beaucoup au développement de sa force physique; elle l'empêcha aussi de suivre les cours publics, où des écoliers n'eussent pas manqué de prendre le camarade en jupes pour point de mire habituel de leurs espiégleries.

Quand la onzième année fut venue, l'évêque de Lisieux confia son jeune neveu aux soins d'un des membres de la société célèbre autour de laquelle commençait déjà à gronder l'orage.

Sans vouloir empiéter sur l'ordre des temps et des idées, qu'on me permette ici une réflexion :

Mme Caritat de Condorcet, dans son amour maternel poussé jusqu'à l'exaltation, assujettit l'enfance du futur secrétaire de l'Académie à des pratiques qui, sur plus d'un point, touchaient à la superstition. Le jeune Condorcet, dès qu'il ouvrit les yeux, se vit entouré d'une famille composée des plus hauts dignitaires de l'Église et d'hommes d'épée parmi lesquels les idées nobiliaires régnaient sans partage; ses premiers guides, ses premiers instituteurs furent des jésuites. Quel fut le fruit d'un concours de circonstances si peu ordinaires? En matière politique, le détachement le plus complet de toute idée de prérogative héréditaire; en matière religieuse, le scepticisme poussé jusqu'à ses dernières limites.

Cette remarque, ajoutée à tant d'autres que l'histoire nous fournirait au besoin, ne devrait-elle pas calmer un peu l'ardeur avec laquelle les partis politiques et religieux, mettant toujours en oubli les droits des familles, se disputent tour à tour le monopole de l'instruction publique? Le monopole n'aurait un côté vraiment dangereux, que dans un pays où la pensée serait enchaînée : avec la liberté de la presse, la raison, quoi qu'on puisse faire, doit finir par avoir raison.

Au mois d'août 1756, Condorcet, âgé alors de treize ans, remportait le prix de seconde dans l'établissement que les jésuites

avaient formé à Reims. En 1758, il commençait, à Paris, ses études mathématiques, au collége de Navarre. Ses succès furent brillants et rapides, car au bout de dix mois il soutint avec tant de distinction une thèse d'analyse très-difficile, que Clairaut, d'Alembert et Fontaine, qui l'interrogeaient, le saluèrent comme un de leurs futurs confrères à l'Académie.

Un pareil horoscope émanant de personnages si éminents, décida de l'avenir du jeune mathématicien. Malgré tout ce qu'il prévoyait de résistances de la part de sa famille, il résolut de se consacrer à la culture des sciences, et vint s'établir à Paris chez son ancien maître, M. Giraud de Kéroudou.

En sortant du collége, Condorcet était déjà un penseur profond. Je trouve dans une lettre de 1775, adressée à Turgot et intitulée *Ma profession de foi*, qu'à l'âge de dix-sept ans le jeune écolier avait porté ses réflexions sur les idées morales de justice, de vertu, et cherché (en laissant de côté des considérations d'un autre ordre) comment notre propre intérêt nous prescrit d'être justes et vertueux. Je développerai la solution pour la rendre intelligible, mais sans assurer qu'elle était inconnue lorsque Condorcet s'y arrêta. Je ne craindrais pas d'être au contraire affirmatif, s'il fallait se prononcer sur la nouveauté de la résolution extrême dont elle devint l'origine.

Un être sensible souffre du mal qu'éprouve un autre être sensible. Il est impossible que, dans la société, un acte injuste ou criminel ne blesse pas quelqu'un. L'auteur d'un pareil acte a donc la conscience d'avoir fait souffrir un de ses semblables. Si la sensibilité dont la nature l'a doué est restée intacte, il doit donc souffrir lui-même.

Ne pas émousser sa sensibilité naturelle doit être, au point

de vue de l'intérêt, le moyen de fortifier en soi les idées de vertu et de justice.

Cette conséquence découlait rigoureusement des prémisses. Elle conduisit le jeune Condorcet à renoncer entièrement à la chasse, pour laquelle il avait une vive passion, et même à ne pas tuer des insectes, à moins, cependant, qu'ils ne lui fissent beaucoup de mal.

Il est bien peu de matières sur lesquelles, même dans sa première jeunesse, Condorcet se soit abandonné à des opinions vagues et non étudiées; je dirais volontiers à des opinions de premier mouvement. Aussi règne-t-il une grande harmonie entre les diverses périodes de la carrière laborieuse et agitée que nous devons parcourir. Vous venez de le voir, au sortir de l'enfance, notre confrère plaçait la douceur envers les animaux au nombre des moyens les plus efficaces de conserver sa sensibilité naturelle, suivant lui principale source de toute vertu. Cette idée l'a toujours dominé. Encore l'avant-veille de sa mort, dans l'admirable opuscule intitulé *Avis d'un proscrit à sa fille,* Condorcet écrivait ces recommandations touchantes :

« Ma chère fille,

« Conserve dans toute sa pureté, dans toute sa force, le
« sentiment qui nous fait partager la douleur de tout être
« sensible. Qu'il ne se borne pas aux souffrances des hom-
« mes; que ton humanité s'étende même sur les animaux.
« Ne rends point malheureux ceux qui t'appartiendront;
« ne dédaigne pas de t'occuper de leur bien-être; ne sois

« pas insensible à leur naïve et sincère reconnaissance; ne « cause à aucun des douleurs inutiles....... Le défaut de « prévoyance dans les animaux est la seule excuse de cette « loi barbare qui les condamne à se servir mutuellement de « nourriture. »

Je devais saisir la première occasion qui s'offrait à moi, de vous montrer Condorcet obéissant résolument à de nobles idées. Tel nous le voyons ici en morale, tel nous le trouverons plus tard en politique. En applaudissant dès à présent à cette rare constance, je n'entends pas insinuer, Dieu m'en garde, que les nombreux changements de bannière auxquels nous avons assisté, que même les plus subits, n'étaient pas consciencieux. Je sais seulement que, par une déplorable fatalité, le public les a vus presque constamment marcher de compagnie avec des faveurs de toute nature, en sorte que des esprits soupçonneux, ont eu un prétexte pour parler de cause et d'effet.

Le premier fruit des méditations auxquelles Condorcet se livra chez M. Giraud de Kéroudou, fut un ouvrage intitulé *Essai sur le calcul intégral*. L'auteur n'avait pas encore vingt-deux ans quand il le présenta à l'Académie.

Permettez que je fasse précéder de quelques réflexions générales ce que j'ai à dire de ce traité et des autres travaux mathématiques de Condorcet.

On citerait à peine, dans le vaste domaine des sciences, huit à dix découvertes importantes qui, pour arriver à maturité, n'aient pas exigé les efforts successifs de plusieurs générations de savants. Malheureusement, par un amour-propre mal entendu, les derniers inventeurs mettent rare-

ment les historiens de la science dans la confidence de leurs emprunts; ils aiment mieux étonner qu'instruire; ils ne voient pas assez combien le rôle de débiteur loyal est doux, en regard de celui qui peut soulever des soupçons de mauvaise foi.

Ici se place une distinction essentielle :

Dans les sciences d'observation, toutes les assises dont se compose l'édifice final sont plus ou moins apparentes. Les livres, les collections académiques disent quand et par qui ces assises ont été posées. Le public peut compter les échelons qu'a dû suivre celui à qui était réservé le bonheur d'atteindre le sommet. Chacun a sa légitime quote-part de gloire dans l'œuvre des siècles.

Il n'en est pas tout à fait de même des mathématiques pures. La filiation des méthodes échappe souvent aux yeux les plus exercés; on y rencontre, à chaque pas, des choses sans liaison apparente avec ce qui précède. Certains géomètres planent majestueusement dans les hautes régions de l'espace, sans qu'il soit aisé de dire qui leur a frayé le chemin. Ajoutons que ce chemin était ordinairement établi sur un échafaudage dont personne n'a pris soin quand l'œuvre a été accomplie. En rechercher les débris épars est un labeur pénible, ingrat, sans gloire et par cette triple raison très-rarement entrepris.

Les savants qui cultivent les mathématiques pures sans arriver aux premiers rangs, doivent se résigner à tous ces désavantages. Je n'ai pas encore cité le plus grave : il résulte, suivant moi, de la nécessité qu'éprouve l'historien des mathématiques, de se dépouiller entièrement des lumières de son siècle, quand il est appelé à juger les travaux des

siècles antérieurs. Voilà, au fond, pourquoi Condorcet n'a pas encore pris son véritable rang parmi les géomètres. Voilà surtout ce qui m'aurait fait reculer devant l'obligation de caractériser nettement, et en quelques lignes, les nombreux travaux mathématiques de notre ancien secrétaire. Heureusement, ainsi que vous le savez, j'ai dans les mains des pièces inédites de Lagrange, de d'Alembert où les mémoires de Condorcet étaient appréciés au moment même de leur publication. Ce sont ces appréciations que je mentionnerai. Condorcet se trouvera ainsi jugé par les hommes les plus compétents, et, ce qui en fait de mathématiques n'est pas une moindre garantie, par des contemporains.

Le premier ouvrage de Condorcet, son *Calcul intégral*, fut examiné par une commission académique, en mai 1765. Le rapport, rédigé par d'Alembert, se terminait ainsi :

« L'ouvrage annonce les plus grands talents, et les plus « dignes d'être excités par l'approbation de l'Académie. »

Les esprits légers, superficiels, qui, sans avoir jamais jeté les yeux sur le travail de Condorcet, en parlent avec un risible dédain, pensent, sans doute, que le rapporteur de l'Académie le traita avec une coupable indulgence. Il faudra, je les en avertis, qu'ils étendent la supposition à Lagrange, car ce grand géomètre écrivait à d'Alembert, à la date du 6 juillet 1765 : « Le *Calcul intégral* de Condorcet m'a « paru bien digne des éloges dont vous l'avez honoré. »

Mettons, d'ailleurs, les autorités de côté ; il n'en restera pas moins évident que cet ouvrage renferme les premières tentatives sérieuses, approfondies qu'on ait faites sur les conditions d'intégrabilité des équations différentielles ordinaires de tous les ordres, soit relativement à l'intégrale

d'un ordre immédiatement inférieur, soit même relativement à l'intégrale définitive. N'est-ce pas là aussi qu'on trouve les germes de plusieurs importants travaux exécutés depuis sur les équations aux différences finies ?

Le volume de l'Académie des sciences de 1772 renferme le mémoire dans lequel l'esprit inventif de Condorcet s'est manifesté avec le plus d'éclat. Les détracteurs aveugles ou systématiques du mérite mathématique de notre ancien secrétaire seront soumis encore ici à une bien rude épreuve, car je vais rapporter le jugement de Lagrange sur cette production :

« Le mémoire est rempli d'idées sublimes et fécondes qui « auraient pu fournir la matière de plusieurs ouvrages. ....
« Le dernier article m'a singulièrement plu par son élégance « et par son utilité .... Les séries récurrentes avaient déjà « été si souvent traitées, qu'on eût dit cette matière épui- « sée. Cependant, voilà une nouvelle application de ces sé- « ries, plus importante, à mon avis, qu'aucune de celles « qu'on en a déjà faites. Elle nous ouvre, pour ainsi dire, « un nouveau champ pour la perfection du *Calcul inté- « gral.* »

Sans sortir du cadre des mathématiques pures, je trouverais encore dans les collections académiques de Paris, de Berlin, de Bologne, de Pétersbourg, des travaux portant toujours sur les questions les plus difficiles de la science, et qui déposeraient également du talent distingué de notre ancien secrétaire; mais je dois me hâter de signaler quelques *applications de l'analyse*, qui ne lui font pas moins d'honneur. J'avertis que, pour épuiser tout d'un coup ce sujet, je ne m'astreins pas à l'ordre des dates.

Quand on a réfléchi sur les difficultés de tout genre que les astronomes ont dû vaincre pour déterminer avec précision les orbites des planètes; quand on a remarqué, de plus, que, les planètes étant constamment observables, il a été possible de faire concourir à cette recherche des positions prises à l'apogée, au périgée et dans tous les points intermédiaires, on n'ose seulement pas concevoir l'espérance de jamais tracer dans l'espace la course de la plupart des comètes. Ces astres chevelus, après s'être montrés seulement quelques jours, vont, en effet, se perdre pendant des siècles dans l'immensité.

Un calcul analytique très-simple dissipe bientôt ces doutes. Il montre que, théoriquement parlant, trois observations sont plus que suffisantes pour déterminer l'orbite cométaire, supposée parabolique; mais les éléments de cette orbite se trouvent tellement enlacés dans les équations, qu'il paraissait très-difficile de les en faire jaillir, sans des calculs d'une longueur rebutante:

Le problème, envisagé de ce point de vue, n'était pas convenablement résolu, même après que Newton, Fontaine, Euler, en eurent fait le sujet de leurs recherches les plus assidues. Quand l'Académie de Berlin le proposa comme sujet de prix, les astronomes, au lieu d'employer les calculs de ces grands géomètres, se servaient encore de méthodes graphiques dans lesquelles figuraient des paraboles de carton de divers paramètres. Le but de l'Académie était clairement exprimé: elle voulait des procédés à la fois *directs et faciles*. Le prix devait être donné en 1774; il fut remis. En 1778, Condorcet le partagea avec M. Tempelhoff. « Votre belle pièce, écri-

« vait Lagrange à notre confrère (le 8 juin 1778), aurait eu « le prix tout entier, si elle avait contenu l'application de « votre théorie à quelque comète particulière. Cette condi- « tion était dans le programme. » La condition y était effectivement, mais Condorcet avait une répugnance extrême pour les calculs, comme il le disait lui-même, « qui exigent « beaucoup d'attention sans la captiver. » Chacun a déjà compris que j'ai voulu désigner les calculs numériques.

Dans le glorieux contingent de découvertes mathématiques dont le monde est redevable à la France, figure une branche de calcul, encore très-mal appréciée, malgré les services qu'elle a déjà rendus, malgré tous ceux qu'elle promet encore : c'est le *calcul des probabilités*.

Je n'hésite pas à placer la découverte du calcul des probabilités parmi les titres scientifiques de notre pays, nonobstant les tentatives qu'on paraît vouloir faire pour l'en dépouiller. Ériger en inventeurs de ce calcul les auteurs de quelques remarques numériques, sans exactitude, sur les diverses manières d'amener une certaine somme de points dans le jet simultané de trois dés, serait une prétention sans base réelle; des préjugés nationaux invétérés pourraient à peine l'excuser.

Malherbe, à soixante-treize ans, voulait se battre contre le jeune meurtrier de son fils. « Vous êtes trop vieux, lui « disait-on. — Ne voyez-vous pas, répondit le poëte, que la « partie est tout entière à mon avantage : je ne hasarde « qu'un denier contre une pistole. » Cette repartie était plus fortement imprégnée des principes du futur calcul que les remarques dont on a voulu s'étayer en faveur d'un pays

voisin. Cependant, quelqu'un s'avisa-t-il jamais de dire : *Enfin Malherbe vint*, et ouvrit de nouvelles voies aux mathématiques? Les vrais, les incontestables inventeurs du calcul des probabilités, sont Pascal et Fermat.

Dans le nombre d'éminents services que ce calcul a déjà rendus à l'humanité, il faut citer en première ligne l'abolition de la loterie et de plusieurs autres jeux, qui, eux aussi, étaient de déplorables piéges tendus à la cupidité, à la crédulité et à l'ignorance. Grâce aux principes évidents et simples sur lesquels la nouvelle analyse se fonde, il n'est pas aujourd'hui de replis qui puissent déguiser la fraude dans les combinaisons financières. Les escomptes, les annuités, les tontines, les assurances de toute nature, n'ont plus rien d'obscur, de mystérieux.

Sur ce terrain, les applications des probabilités ont été admises sans trop de résistance. Mais lorsque Condorcet, à la suite de quelques essais de Nicolas Bernoulli, fit incursion, à l'aide du nouveau calcul, dans le domaine de la jurisprudence et des sciences morales ou politiques, un soulèvement presque général dut l'avertir que sa prise de possession n'aurait pas lieu sans un combat animé. A vrai dire, le combat dure encore. Pour le faire cesser, il faudrait, d'une part, que les géomètres consentissent à exposer les principes des probabilités en termes clairs, précis, dégagés autant que possible d'expressions techniques; il faudrait, d'autre part, et ceci est bien plus difficile, amener la masse du public à reconnaître que l'appréciation de certaines matières très-complexes ne saurait être du domaine d'un premier aperçu; qu'on ne doit pas s'attendre à parler pertinemment de chiffres sans avoir au moins approfondi les principes

de la numération ; enfin, qu'il existe des vérités, des connexions légitimes, en dehors de celles dont on a puisé les rudiments dans des impressions de jeunesse ou dans la lecture des ouvrages classiques. Pour comprendre que les tribunaux civils et criminels doivent être constitués de manière qu'un innocent coure très-peu de risques d'être condamné ; pour comprendre aussi que les chances d'une condamnation injuste seront d'autant moindres que le jugement devra être rendu à une plus grande majorité, il suffit des sentiments d'humanité les plus ordinaires et des simples lumières naturelles. Le problème devient plus compliqué, s'il s'agit de concilier la juste garantie qu'il faut assurer aux innocents, avec le besoin qu'éprouve la société de ne pas laisser échapper trop de coupables ; alors la simple raison ne conduit plus qu'à des résultats vagues ; le calcul seul peut leur donner de la précision.

Répétons-le, il y a, dans les décisions judiciaires, certaines faces, certains points de vûe du ressort du calcul. En portant dans ce dédale le flambeau de l'analyse mathématique, Condorcet n'a pas seulement fait preuve de hardiesse : il a de plus ouvert une route entièrement nouvelle. En la parcourant d'un pas ferme, mais avec précaution, les géomètres doivent découvrir dans l'organisation sociale, judiciaire et politique des sociétés modernes, des anomalies qu'on n'a pas même soupçonnées jusqu'ici.

Il est de toute évidence que, dans ses incursions sur le domaine de la jurisprudence, le calcul des probabilités a uniquement pour objet de *comparer numériquement* les décisions obtenues à telle ou telle majorité ; de trouver les *valeurs relatives de tel ou tel nombre de témoignages ;* je puis donc

signaler avec sévérité à la conscience publique les passages que la Harpe, dans sa *Philosophie du XVIIIe siècle*, a consacrés à ces applications des mathématiques. On y verra, j'ose le dire, avec stupéfaction, le rhéteur accuser notre confrère de vouloir toujours se passer de témoins, et même de preuves écrites; de prétendre les remplacer avantageusement par des formules analytiques. Au lieu de lui renvoyer les expressions si peu académiques : c'est un emploi *souverainement ridicule de la science;* c'est une conquête *extravagante de la philosophie révolutionnaire; cela démontre qu'on peut délirer en mathématiques*, chacun s'affligera de voir qu'un homme d'un talent réel soit tombé dans de si incroyables erreurs. Ce sera, au reste, une nouvelle preuve qu'il n'est permis à personne, pas même aux académiciens, de parler impunément de ce qu'ils n'ont pas étudié.

Je l'avouerai, les écrits mathématiques de Condorcet manquent de cette clarté élégante qui distingue à un si haut degré les mémoires d'Euler et de Lagrange. D'Alembert, qui, lui-même, sous ce rapport, n'était pas entièrement irréprochable, avait vivement engagé notre ancien secrétaire, mais sans grand succès, à songer un peu plus à ses lecteurs. En mars 1772 il écrivait à Lagrange : « Je voudrais bien « que notre ami Condorcet, qui a de la sagacité, du génie, « eût une autre manière de faire; apparemment, il est dans « la nature de son esprit de travailler dans ce genre. »

Une pareille excuse a plus de fondement qu'on ne serait peut-être disposé à le croire. Euler, d'Alembert, Lagrange, avec un égal génie mathématique, avaient, en effet, *des manières* de travailler entièrement différentes.

Euler calculait sans aucun effort apparent, comme les

hommes respirent, comme les aigles planent dans les airs.

Dans une lettre que j'ai sous les yeux, datée de 1769, d'Alembert se dévoilait à Lagrange en ces termes : « Il n'est « pas trop dans ma nature de m'occuper de la même chose « fort longtemps de suite. Je la laisse et je la reprends, « autant de fois qu'il me vient en fantaisie, sans me re- « buter, et pour l'ordinaire cette *opiniâtreté éparpillée* me « réussit. »

Une troisième *manière* du génie me semble bien caractérisée par ce passage que je copie dans une note manuscrite de l'auteur de la *Mécanique analytique*[1]:

« Mes occupations se réduisent à cultiver la géométrie, « tranquillement, et dans le silence. Comme je ne suis pas « pressé et que je travaille plutôt pour mon plaisir que par « devoir, je ressemble aux grands seigneurs qui bâtissent : je « fais, défais et refais, jusqu'à ce que je sois passablement « content de mes résultats, ce qui néanmoins arrive très-ra- « rement. »

Il était bon, peut-être, de montrer que la variété, que l'individualité existent dans les recherches mathématiques comme en toute autre chose; que les voies les plus diverses peuvent également conduire un homme supérieur à trouver, dans les attractions mutuelles des corps célestes, la cause du changement d'obliquité de l'écliptique, la cause de la précession des équinoxes, et celle des mouvements de libration de la lune.

On s'est demandé, avec un sentiment de surprise bien naturel, comment Condorcet renonça si facilement aux succès que la carrière scientifique lui promettait, pour se jeter dans les discussions d'un intérêt souvent très-problématique

de l'économie sociale, et dans l'arène ardente de la politique! Si ce fut une faute, bien d'autres, hélas! s'en sont aussi rendus coupables. En voici, au surplus, l'explication :

Convaincu de bonne heure que l'espèce humaine est indéfiniment perfectible, Condorcet (je copie) « regardait le « soin de hâter ses progrès, comme une des plus douces « occupations, comme un des premiers devoirs de l'homme « qui a fortifié sa raison par l'étude et par la médita- « tion. »

Condorcet exprimait la même pensée en d'autres termes, lorsqu'après la destitution de Turgot il écrivait à Voltaire : « Nous avons fait un bien beau rêve, mais il a été trop court. « Je vais me remettre à la géométrie. C'est bien froid de ne « plus travailler que pour la *gloriole*, quand on s'est flatté « quelque temps de travailler pour le bien public. »

J'oserai ne pas admettre cette distinction. La *gloriole* dont parle Condorcet, va tout aussi directement au bénéfice de l'humanité que les recherches philosophiques, économiques, auxquelles notre confrère avait pris tant de goût dans la société de Turgot. Le bien qu'on fait par les sciences a même des racines plus profondes, plus étendues que celui qui nous vient de toute autre source. Il n'est pas sujet à ces fluctuations, à ces caprices soudains, à ces mouvements rétrogrades qui portent si souvent la perturbation dans la société. C'est devant le flambeau des sciences que se sont dissipés cent préjugés anciens et abrutissants, maladies mortelles du monde moral et intellectuel. Si, entraîné jusqu'au paradoxe par une très-légitime douleur, Condorcet a voulu insinuer que les découvertes scientifiques n'ont jamais une influence directe et immédiate sur les événements

du monde politique, je combattrai aussi cette thèse, sans même avoir besoin d'évoquer les noms retentissants de boussole, de poudre à canon, de machine à vapeur. Je prendrai un fait entre mille, pour montrer l'immense rôle qu'ont souvent joué les plus modestes inventions.

C'était dans l'année 1746. Le prétendant avait débarqué en Écosse, et la France lui envoyait de puissants secours. Le convoi français et l'escadre anglaise se croisent pendant une nuit très-obscure. Les vigies les plus exercées sont muettes; elles ne voient, ne signalent absolument rien; mais en quittant Londres, l'amiral Knowles, malheureusement pour la France et pour son allié, s'était muni d'une lunette de construction récente et fort simple, connue depuis sous le nom de *lunette de nuit;* d'une lunette dans laquelle l'artiste avait complétement sacrifié le grossissement à la clarté. Ce nouvel instrument lui dessine vers l'horizon les silhouettes de nombreux navires; il les poursuit, les atteint, les enlève : l'humble lunette de nuit vient de décider à jamais de la destinée des Stuarts.

Je ne sais, mais n'aurons-nous pas donné une explication assez naturelle de la tristesse qu'éprouvait Condorcet en revenant aux mathématiques, si nous remarquons que les géomètres les plus illustres eux-mêmes se montraient alors découragés. Ils se croyaient arrivés aux dernières limites de ces sciences. Jugez-en par ce passage que je copie dans une lettre de Lagrange à d'Alembert : « Il me semble que la mine « est déjà trop profonde, et qu'à moins qu'on ne découvre de « nouveaux filons, il faudra tôt ou tard l'abandonner. La « chimie et la physique offrent maintenant des richesses « plus brillantes et d'une exploitation plus facile. Aussi le

« goût du siècle paraît-il entièrement tourné de ce côté-là.
« Il n'est pas impossible que les places de géométrie, dans les « académies, deviennent un jour ce que sont actuellement « les chaires d'arabe dans les universités. »

Nomination de Condorcet à l'Académie des sciences. Son voyage à Ferney. Ses relations avec Voltaire.

J'apprends, par une lettre de d'Alembert à Lagrange, que Condorcet aurait pu entrer à l'Académie en 1768, à l'âge de vingt-cinq ans; ses parents ne le voulurent point. Faire des sciences son occupation officielle, son occupation principale, c'était à leurs yeux déroger.

Condorcet fut reçu en 1769. Sa famille s'était rendue, plutôt par lassitude que par conviction, car six ans après, Condorcet, déjà secrétaire perpétuel de l'Académie, écrivait à Turgot : « Soyez favorable à M. Thouvenel; c'est « le seul de mes parents qui me pardonne de ne pas être « capitaine de cavalerie. »

Je dois ranger, parmi les premiers travaux académiques de Condorcet, un mémoire inédit sur la meilleure organisation des sociétés savantes. Ce travail était destiné au gouvernement espagnol. Dominé par le besoin de calmer les susceptibilités de la cour de Madrid, l'auteur a rétréci outre mesure certaines faces de la question; mais on y trouve des vues générales, fruit d'une expérience éclairée, et quelques anecdotes curieuses qui donnent la clef, jusqu'ici ignorée, de diverses prescriptions de nos anciens règlements académiques.

Il aurait fallu méconnaître entièrement l'Espagne du XVIIIe siècle pour songer à y établir une académie où les

Mœdina Celli, les d'Ossuna, etc., considérés uniquement comme partie de la *grandessa*, n'auraient pas trouvé leur place. Condorcet faisait cette concession : il créait des membres honoraires, mais en stipulant une égalité de droits, de prérogatives, qui pouvait, suivant notre confrère, « relever les « académiciens aux yeux du public, et peut-être à leurs pro- « pres yeux, car les savants eux-mêmes ne sont pas toujours « philosophes. Enfin, disait Condorcet, pour que ce mélange « de gens de qualité qui aiment les sciences, et de savants « voués à leurs progrès, soit agréable aux uns et aux autres, « il doit rappeler ce mot de Louis XIV : Savez-vous pourquoi « Racine et M. de Cavoye, que vous voyez là-bas, se trouvent « si bien ensemble? Racine avec Cavoye se croit homme « de cour ; Cavoye avec Racine se croit homme d'es- « prit. »

Peut-être me saurez-vous quelque gré si je divulgue ici, d'après le manuscrit de Condorcet, l'origine d'un article de la première charte de notre compagnie, article relatif aussi à la nomination des grands seigneurs.

« Lorsqu'on introduisit, » dit notre confrère, « des hono- « raires dans l'Académie des sciences, Fontenelle, voulant « éviter qu'ils ne dégoûtassent les vrais savants par des hau- « teurs, par l'abus du crédit, imagina, comme une sorte de « compensation, de faire mettre dans les règlements que la « classe des honoraires serait la seule où les moines pour- « raient être admis. »

Dans l'espoir de décider les autorités espagnoles à ne jamais se régler, pour les choix, sur les principes religieux des candidats, Condorcet leur posait cette question : « Croyez-vous « qu'une académie composée de l'athée Aristote, du brahme

« Pythagore, du musulman Alhasen, du catholique Descartes, « du janséniste Pascal, de l'ultramontain Cassini, du calviniste « Huygens, de l'anglican Bacon, de l'arien Newton, du déiste « Leibnitz, n'en eût point valu une autre ? Pensez-vous qu'en « pareille compagnie on ne se serait pas entendu parfaitement « en géométrie, en physique, et que personne s'y fût amusé à « parler d'autre chose ? »

Condorcet ne songeait pas à Madrid seulement en demandant, pour le directeur de l'Académie, une grande autorité et de larges prérogatives. Il voulait, ce sont ses propres expressions, « délivrer les savants de l'affront le plus propre à « les dégoûter : celui d'être protégés par des subalternes. » C'est là, en effet, une plaie de tous les temps et de tous les pays.

Si le mémoire de Condorcet voit jamais le jour, peut-être trouvera-t-on qu'il s'est prononcé d'une manière trop absolue contre l'admission des étrangers parmi les membres résidents des académies. En pareil cas, l'histoire dira, à la décharge de notre confrère, qu'au moment où il écrivait, le gouvernement français prodiguait ses faveurs à des étrangers médiocres, et négligeait des hommes supérieurs nés dans le pays. Elle montrera, par exemple, un Italien, Boscowich, pourvu d'une immense pension par les mêmes ministres qui refusaient à d'Alembert, malgré son génie et l'autorité des règlements, la réversibilité de 1200 livres de rente provenant de la succession de Clairaut. On verra, enfin, chose incroyable, ce même personnage que Lagrange et d'Alembert traitaient avec le plus grand dédain dans des lettres que j'ai sous les yeux, vouloir entrer à l'Académie sans attendre une vacance, et être sur le point de réussir, grâce à l'admi-

ration niaise qu'on a constamment professée dans cette capitale, pour tout homme dont le nom a une terminaison étrangère.

Jusqu'en 1770, Condorcet avait paru vouloir se borner exclusivement aux études mathématiques et économiques. A partir de cette année, il se jeta aussi dans le tourbillon littéraire. Personne n'hésitera sur la cause de cette résolution, quand on aura remarqué qu'elle suivit de très-près, par la date, le voyage que d'Alembert et Condorcet firent à Ferney.

A son retour, le jeune académicien de vingt-sept ans écrivait à Turgot, intendant du Limousin : « J'ai trouvé Voltaire « si plein d'activité et d'esprit qu'on serait tenté de le croire « immortel, si un peu d'injustice envers Rousseau, et trop « de sensibilité au sujet des sottises de Fréron, ne faisaient « apercevoir qu'il est homme.... » A l'occasion de quelques articles du Dictionnaire philosophique, alors inédit, articles dont l'importance ou l'originalité pouvaient être l'objet d'un doute, Condorcet disait dans une autre lettre : « Voltaire « travaille moins pour sa gloire que pour sa cause. Il ne faut « pas le juger comme philosophe, mais comme apôtre. »

Certains travaux de Voltaire pouvaient-ils être appréciés avec plus de mesure, de goût, de délicatesse?

Le malheureux Gilbert disait dans sa célèbre épître :

> Saint-Lambert, noble auteur dont la muse pédante
> Fait des vers fort vantés par Voltaire qu'il vante.

Le poëte avait circonscrit son accusation; cent prosateurs se

chargèrent de la généraliser. Voltaire devint une sorte de Dalaï-Lama du monde intellectuel. Ses amis furent des courtisans dépourvus de dignité, dévoués aveuglément aux caprices du maître, et quêtant par des éloges outrés, par des complaisances sans bornes, une de ces lettres datées de Ferney, qui semblaient dans le monde un gage certain d'immortalité. En ce qui touche Condorcet, il suffira de quelques guillemets pour renverser tout cet échafaudage d'accusations flétrissantes.

Madame Necker reçut en 1776 des vers très-louangeurs de Voltaire. Son mari, successeur de Turgot au contrôle général des finances, avait aussi dans ces vers une large part d'éloges. Tout cela était assurément sans conséquence; mais le rigorisme de Condorcet s'en émut; il crut y voir un acte de faiblesse, dont la réputation du célèbre philosophe devait souffrir; son inquiétude, son déplaisir débordèrent alors en termes d'une incroyable amertume :

« Je suis fâché de ces vers. Vous ne savez pas assez quel « est le poids de votre nom..... Vous ressemblez aux gens qui « vont applaudir Arlequin quand il y a relâche à Zaïre..... « Je ne connais votre pièce que par ouï-dire ; mais ceux qui « l'ont lue m'assurent qu'à propos de M. et Mme L'Enveloppe « (M. et Mme Necker) vous parlez de *Caton*. Cela me rappelle « un jeune étranger qui me disait : J'ai vu trois grands « hommes en France; *M. de Voltaire, M. d'Alembert* et « M. l'abbé de *Voisenon*. »

Un seul exemple d'indépendance, de loyale franchise, ne suffirait pas; qu'on me permette d'autres citations.

Voltaire voulait faire jouer à Paris la tragédie qu'il avait composée dans son extrême vieillesse : *Irène*. Condorcet, craignant un échec, résistait aux instances pressantes qui lui arri-

vaient de Ferney, en s'appuyant sur des critiques judicieuses et fermes, tempérées par des paroles respectueuses à travers lesquelles on découvre toujours le disciple s'adressant à son maître. Voici, par exemple, ce que je lis dans une lettre de la fin de 1777 : ... « Songez, Monsieur, songez que vous nous « avez accoutumés à la perfection dans les mouvements, dans « les caractères, comme Racine nous avait accoutumés à la « perfection dans le style... Si nous sommes sévères, c'est « votre faute. »

Condorcet était un profond géomètre. Il appartenait à cette classe d'hommes d'études qui, sur la foi de quelques *ana*, n'assistent à la représentation des plus belles tragédies de Corneille, de Racine, que pour s'écrier à chaque scène : Qu'est-ce que cela prouve? Voltaire devait donc tenir peu de compte des remarques d'un critique si incompétent. Écoutez, et jugez :

« Ferney, le 12 janvier 1778.

« Mon philosophe universel, vos lumières m'étonnent, et « votre amitié m'est de jour en jour plus chère. Je suis affligé « et honteux d'avoir été d'un autre avis que vous, sur la der- « nière tentative d'un vieillard de quatre-vingt-quatre ans. « J'avais cru, sur la foi de quelques pleurs que j'ai vu répan- « dre à des personnes qui savent lire et se passionner sans « chercher la passion, que si *mon esquisse* était avec le « temps bien peinte et bien coloriée, elle pourrait produire « à Paris un effet heureux. Je me suis malheureusement « trompé. Je conviens d'une grande partie des vérités que « vous avez la bonté de me dire, et je m'en dis bien d'autres

« à moi-même. Je travaillais à faire un tableau de ce croquis, « lorsque vos critiques, dictées par l'amitié et par la raison, « sont venues augmenter mes doutes. On ne fait rien de « bien dans les arts d'imagination et de goût, sans le se-« cours d'un ami éclairé. »

Je sens que j'insiste peut-être trop sur un point de la vie de Condorcet qui déjà doit vous paraître suffisamment éclairci. Cependant, j'éprouve l'invincible besoin de faire une troisième et dernière citation : c'est que, dans ce nouveau cas, la franchise de Condorcet s'éleva à la hauteur d'une belle et noble action.

Voltaire et Montesquieu ne s'étaient point aimés. Montesquieu l'avait même trop laissé paraître. Voltaire s'irrite de quelques brochures qu'on publie à ce sujet et rédige à Ferney, contre l'*Esprit des Lois*, des articles qu'il adresse à ses amis de Paris, en leur demandant de les publier. Condorcet ne cède point aux instances, quelque impérieuses qu'elles soient, de l'illustre vieillard. « Ne voyez-vous pas, lui mande-« t-il, qu'on rapprocherait ce que vous dites aujourd'hui de « Montesquieu, des éloges que vous lui avez donnés autre-« fois ? Ses admirateurs, blessés de la manière dont vous « relevez quelques citations erronées, iraient chercher dans « vos ouvrages des inadvertances semblables, et il serait « impossible qu'on n'en découvrît pas. César, racontant ses « propres campagnes dans les Commentaires, a bien com-« mis lui-même des inexactitudes..... Vous me pardonne-« rez, je l'espère, de ne pas adopter un avis auquel vous « paraissez tenir beaucoup. Mon attachement me commande « de vous dire ce qui sera avantageux, et non ce qui pour-

« rait vous plaire. Si je vous aimais moins, je n'aurais pas « le courage de vous contredire. Je sais les torts de Mon- « tesquieu; il est digne de vous de les oublier. »

Ce langage loyal et noble redressera bien de fausses idées. Qui maintenant oserait dire que les philosophes du XVIIIe siècle s'étaient faits, en quelque sorte, *les hommes liges de Voltaire?* La courte réponse de l'illustre vieillard aux remontrances de Condorcet, ne sera pas un document moins précieux dans l'histoire de notre littérature. Je ne commettrai pas la faute de la laisser enfouie dans mon porte-feuille; la voici:

« Il n'y a pas un mot à répondre à ce qu'un vrai philo- « sophe m'a écrit le 20 juin. Je l'en remercie très-sincère- « ment. On voit toujours mal les choses quand on les voit « de trop loin. Il ne faut jamais rougir d'aller à l'école, eût- « on l'âge de *Matussalem*..... Je vous renouvelle ma recon- « naissance. »

Condorcet successeur de Grandjean de Fouchy comme secrétaire de l'Académie des sciences. Appréciation de ses Éloges des académiciens.

Fontenelle avait jeté tant d'éclat sur les fonctions de secrétaire de l'Académie des sciences, qu'à sa mort personne ne voulut lui succéder. Après bien des sollicitations, Mairan consentit à occuper provisoirement cette place, pour laisser à la compagnie savante le temps de faire un choix dont elle n'eût pas après coup à se repentir. On comprit enfin que le seul moyen d'éviter toute comparaison écrasante, serait de donner

au neveu de Corneille un successeur résigné à ne pas l'imiter, et qui pût désarmer la critique par son extrême modestie. C'est dans ces circonstances qu'en 1743 Grandjean de Fouchy devint l'organe officiel de l'ancienne Académie.

Fouchy remplissait ces fonctions depuis plus de trente années, lorsque Condorcet entra dans la compagnie savante. Les infirmités du secrétaire perpétuel, son âge, lui faisaient désirer d'avoir un collaborateur, et il jeta les yeux sur son plus jeune confrère. C'était créer une sorte de survivance. Cela révolta la portion de l'Académie qui s'associait ordinairement aux inspirations de Buffon. Les amis de d'Alembert ne montrèrent pas moins d'ardeur en sens inverse.

Il est rare que des principes abstraits passionnent les hommes à ce degré; aussi, pour tout le monde, la question bien posée était celle-ci: Le successeur de Fontenelle s'appellera-t-il Bailly ou Condorcet?

Entre de tels concurrents la lutte ne pouvait manquer d'être noble et loyale, en ce qui dépendait seulement d'eux. Condorcet, toute sa vie profondément modeste, crut qu'il avait à donner la mesure de son expérience, de son habileté dans l'art d'écrire, et se mit à composer des éloges académiques.

Les règlements de 1699 imposaient au secrétaire perpétuel l'obligation de payer un tribut de regrets à la mémoire des académiciens que la mort moissonnait. Telle est l'origine de tant de biographies souvent éloquentes, toujours ingénieuses, que Fontenelle a laissées et qui se rapportent toutes à l'intervalle compris entre la dernière année du XVIIe siècle et

1740. L'homme amoureux de sa tranquillité fait ce que le devoir lui prescrit, et jamais davantage. C'est dire que Fontenelle se garda bien de remonter, dans les annales de la compagnie, au delà du moment de son entrée en fonctions. L'admirable collection qu'il nous a laissée présentait ainsi une lacune de trente-trois ans. Les académiciens décédés entre 1666 et 1699 n'avaient point eu de biographies. C'est dans ce tiers de siècle que Condorcet trouva les sujets de ce qu'il appelait ses exercices, et parmi eux, des savants tels que Huygens, Roberval, Picard, Mariotte, Perrault, Roëmer, etc.

Ces premiers éloges sont écrits avec une connaissance parfaite des matières traitées par les académiciens, et d'un style simple, clair, précis. Condorcet disait en les adressant à Turgot : « Si j'avais pu y mettre un peu de clinquant, « ils seraient plus à la mode; mais la nature m'a refusé le « talent de rassembler des mots, l'un de l'autre étonnés, « hurlant d'effroi de se voir accouplés. Je m'humilie devant « ceux qu'elle a mieux traités que moi. »

Condorcet se trompait en montrant tant de défiance pour un travail qui lui donna dans l'Académie une imposante majorité, et dont Voltaire, d'Alembert et Lagrange ne parlaient jamais qu'avec une grande estime.

Le 9 avril 1773, d'Alembert écrivait à Lagrange : « Con- « dorcet méritait bien la survivance de la place de secré- « taire, par les excellents éloges, qu'il vient de publier, des « académiciens morts depuis 1699..... Ils ont eu ici un suc- « cès unanime. »

« Cet ouvrage, disait Voltaire à la date du 1er mars 1774, « est un monument bien précieux. Vous paraissez partout « le maître de ceux dont vous parlez, mais un maître

« doux et modeste. C'est un roi qui fait l'histoire de ses « sujets. »

Un pareil suffrage assignait aux premiers essais de Condorcet, sous le double rapport du fond et de la forme, un rang d'où la malveillance a vainement tenté de les faire descendre.

Condorcet était à peine entré en relation avec M. de Fouchy, qu'il en reçut la mission d'écrire plusieurs éloges, entre autres celui du géomètre Fontaine, mort le 21 août 1771. Des difficultés imprévues vinrent aussitôt l'assaillir. Lorsque Condorcet traçait les biographies des premiers membres de l'Académie des sciences, un siècle avait mis toutes choses à leur véritable place : personnes, travaux et découvertes; alors, il ne s'agissait guère, pour l'écrivain, que de promulguer, en termes plus ou moins heureux, les arrêts irrévocables et déjà connus de la postérité.

Dorénavant il allait se trouver aux prises avec les exigences presque toujours aveugles des familles, avec des susceptibilités contemporaines, quelquefois amies, habituellement rivales; enfin, avec des opinions basées sur des préjugés et des haines personnelles, autant dire avec ce qu'il y a dans le monde intellectuel de plus difficile à déraciner.

Je soupçonne que Condorcet s'exagéra outre mesure les embarras, assurément réels, dont je viens de donner l'aperçu. Je suis, du moins, certain que la composition de son premier éloge d'un académicien contemporain fut extrêmement laborieuse. Dans la correspondance avec Turgot, je le vois déjà très-occupé de Fontaine vers le milieu de 1772. Au commencement de septembre, il adressait à l'illustre intendant une première copie de son travail. Le même éloge

retouché, remanié, reprenait un an plus tard, en septembre 1773, le chemin de Limoges.

Ce fut, on doit en convenir, pour un écrit de vingt-cinq pages in-8°, bien du temps, de l'hésitation, du scrupule. Du moins, la maxime de Boileau n'avait pas été cette fois infructueuse. D'Alembert, écrivant à Lagrange, appelait l'éloge de Fontaine un chef-d'œuvre. Voltaire disait dans une lettre du 24 décembre 1773 : « Vous m'avez fait passer, « Monsieur, une demi-heure bien agréable..... Vous avez em- « belli la sécheresse du sujet, par une morale noble et pro- « fonde..... qui enchantera tous les honnêtes gens.... Si vous « avez besoin de votre copie, je vous la renverrai en vous « demandant la permission d'en faire une pour moi. »

Voltaire demandant, pour son usage personnel, la permission de copier l'éloge de Fontaine ! connaît-on un hommage au-dessus de celui-là ?

A l'éloge de Fontaine succéda celui non moins piquant, non moins ingénieux, non moins philosophique de la Condamine. L'Académie et le public le reçurent avec des applaudissements unanimes.

Enfin, avec les seules exceptions des années 1775 et 1776, pendant lesquelles l'Académie n'éprouva aucune perte, le secrétaire eut à pourvoir annuellement, jusqu'en 1788, à trois, à quatre, et même à huit compositions analogues.

Le style de ces derniers éloges de Condorcet est grave et noble. On n'y aperçoit aucune trace de manière, de recherche; aucun désir de faire effet par l'expression; de couvrir sous la pompe, sous la bizarrerie du langage, la faiblesse, la fausseté de la pensée.

Notre confrère résista avec d'autant plus d'assurance à

l'invasion du mauvais goût, à la confusion des genres, aux tendances dithyrambiques dont une certaine école commençait à faire l'essai, que Voltaire l'encourageait, qu'il lui écrivait de Ferney, à la date du 18 juillet 1774 : « C'est sans « doute un malheur d'être né dans un siècle dégoûté; mais, « que voulez-vous : le public est à table depuis quatre-vingts « ans; il boit de mauvaise eau-de-vie sur la fin du repas. »

C'est aujourd'hui chose assez généralement convenue, et propagée par ouï-dire, que Condorcet manque, dans ses éloges, de force, de chaleur, d'élégance, de sensibilité. J'oserai ne pas être de cet avis, sans même trop m'effrayer de mon isolement.

Que répondraient, en effet, ceux qui parlent de manque de force, si je leur citais ce portrait des académiciens, heureusement très-peu nombreux, dont les noms se sont trouvés mêlés à des brigues sourdes :

« De pareilles brigues ont toujours été l'ouvrage de ces « hommes que poursuit le sentiment de leur impuissance; « qui cherchent à faire du bruit, parce qu'ils ne peuvent « mériter la gloire; qui, n'ayant aucun droit à la réputation, « voudraient détruire toute réputation méritée, et fatiguent, « par de petites méchancetés, l'homme de génie qui les ac- « cable du poids de sa renommée. »

J'oserai renvoyer les critiques qui ont reproché à Condorcet de manquer de sensibilité, aux passages suivants de l'éloge inédit des pères Jacquier et le Seur :

. . . . . « Leur amitié n'était pas de ces amitiés vulgaires « que fait naître la conformité des goûts et des intérêts. La « leur devait son origine à un attrait naturel et irrésistible. « Dans ces amitiés profondes et délicieuses, chacun souffre

« toutes les souffrances de son ami, et sent tous ses plaisirs.
« On n'éprouve pas un sentiment, on n'a pas une pensée où
« son ami ne soit mêlé; et si on s'aperçoit qu'on n'est pas un
« avec lui, c'est uniquement par la préférence qu'on lui donne
« sur soi-même. Cet ami n'est pas un homme que l'on aime,
« que l'on préfère aux autres hommes; c'est un être à part
« et à qui rien ne ressemble : ce ne sont ni ses qualités, ni
« ses vertus qu'on aime en lui, puisqu'un autre aurait pu
« les avoir et qu'on ne l'aurait pas aimé de même; c'est lui
« qu'on aime, et parce que c'est lui. Ceux qui n'ont point
« goûté ce sentiment peuvent seuls nier qu'il existe; il faut
« les plaindre. . . . .

. . . .

. . . . . . « Dès l'instant où ils se furent rencontrés à
« Rome, tout fut commun entre eux : peines, plaisirs, tra-
« vaux, la gloire même, celui de tous les biens peut-être qu'il
« est plus rare que deux hommes aient partagé de bonne
« foi. Cependant, chacun d'eux publia à part quelques mor-
« ceaux, mais peu importants, et qui, selon le jugement de
« celui à qui ils appartenaient, n'auraient pas mérité de pa-
« raître avec le nom de son ami. Ils voulurent qu'il y eût
« dans les places qu'ils occupaient une égalité parfaite; si
« l'un des deux obtenait une distinction, il ne songeait plus
« qu'à procurer à son ami une distinction égale. Un jour,
« dans un besoin d'argent, le père le Seur s'adressa à un autre
« qu'à son ami. Le père Jacquier lui en fit des reproches : Je
« savais que vous n'en aviez pas, lui dit le père le Seur, et
« vous en auriez emprunté pour moi à la même personne.

. . . .

. . . . . . « Le père Jacquier eut le malheur de survivre

« à son ami. Le père le Seur succomba à ses infirmités « en 1770. Deux jours avant de mourir, il paraissait avoir « perdu toute connaissance. « Me reconnaissez-vous ? » lui « dit le père Jacquier, peu d'instants avant sa mort. « Oui, « répondit le mourant; vous êtes celui avec qui je viens de « résoudre une équation très-difficile. » Ainsi au milieu de « la destruction de ses organes, il n'avait pas oublié quels « furent les objets de ses études, et il se rappelait un ami « avec qui tout lui avait été commun.

« Le père Jacquier fut arraché des bras de son ami mourant, « par des amis qui, pour me servir des expressions du père « Jacquier lui-même, *ne voulaient pas avoir à les regretter « tous deux.*

« Il a repris une chaire que sa santé l'avait obligé de quit-« ter. Moins occupé de prolonger des jours que l'amitié ne « console plus, il veut du moins les remplir par des travaux « utiles, et suspendre le sentiment d'une douleur dont rien « ne peut le guérir. Il sait qu'il ne faut pas ajouter le poids « du temps à celui du malheur, et que, pour les âmes qui « souffrent, le loisir est la plus cruelle des tortures. »

L'appréciation que Condorcet a donnée des mérites divers de la Condamine pourrait, si je ne me trompe, être placée sans désavantage, à côté de l'éloquente allocution que Buffon adressait à l'illustre voyageur, le jour de sa réception à l'Académie française. Elle soutiendrait aussi le parallèle avec tout ce que l'éloge du même académicien, prononcé par l'abbé Delille, son successeur, renferme de plus élégant.

Les compositions biographiques de Condorcet brillent par ce qui devait naturellement en faire l'essence. L'histoire de

l'esprit humain y est envisagée de très-haut. Dans le choix des détails, l'auteur a constamment en vue l'instruction et l'utilité, plus encore que l'agrément. Sans trahir la vérité dont les prérogatives doivent primer tout autre intérêt, toute autre considération, Condorcet est sans cesse dominé par cette pensée, que la dignité du savant se confond, à un certain degré, avec celle de la science; que les applaudissements accordés à la peinture spirituelle de tel ou tel ridicule, sont de pauvres dédommagements du tort, pour léger qu'il soit, qu'on a pu faire à la plus modeste branche des connaissances humaines.

On a trop attendu de *Monsieur plus que Fontenelle*, comme Voltaire appelait notre confrère sur l'adresse de plusieurs lettres inédites que j'ai dans les mains, en espérant trouver dans ses éloges des chapitres complétement rédigés d'une future histoire des sciences. Condorcet ne commit pas la faute de présenter à son auditoire des aliments trop savoureux, des aliments qui n'auraient pas été acceptés.

Notre ancien secrétaire se distingue, surtout, par la plus éclatante impartialité, par les pensées philosophiques et d'un intérêt général qu'il jette à pleines mains au milieu des plus simples circonstances biographiques; par son abnégation constante de tout ressentiment personnel, de tout esprit de coterie, de toute pensée d'amour-propre. Condorcet caractérisait aussi bien ses propres ouvrages que ceux de Franklin, quand il disait de ces derniers : « On y chercherait vainement une ligne qu'on puisse le soupçonner d'avoir « écrite pour sa gloire. »

La longue carrière de Franklin elle-même n'offre certainement pas un trait de modestie plus franc, plus net, plus

explicite que celui qui est contenu dans ce passage de l'éloge de Fontaine : « J'ai cru un moment, disait ce géomètre, « qu'un jeune homme avec qui on m'avait mis en relation « valait mieux que moi ; j'en étais jaloux, mais il m'a rassuré « depuis. »

Le jeune homme en question, ajoute Condorcet, est l'auteur de cet éloge.

La secte toujours si nombreuse et si active des envieux que la concorde importune, reçut un jour, par la bouche de Fontenelle, une leçon de bon sens, de sagesse dont malheureusement elle a peu profité. La première édition du Siècle de Louis XIV venait de paraître. C'était une trop belle occasion d'irriter deux grands hommes l'un contre l'autre, pour qu'on négligeât d'en profiter. « Comment suis-je donc « traité dans cet ouvrage? demanda Fontenelle. — Voltaire, « répondit-on, commence par déclarer que vous êtes le seul « personnage vivant pour lequel il se soit écarté de la loi « qu'il s'était faite de ne parler que des morts. — Je n'en « veux pas savoir davantage, repartit le secrétaire de l'Aca-« démie. Quelque chose que Voltaire ait pu ajouter, je dois « être content. »

Malgré quelques légères critiques, l'immortel auteur de l'histoire naturelle, *Buffon*, n'aurait-il pas de même été content, s'il eût pu entendre ces magnifiques appréciations de son éloquence, sorties de la plume de Condorcet!

« Des traits qui semblent échapper à Buffon, caractérisent « la sensibilité et la fierté de son âme; mais elle paraît tou-« jours dominée par une raison supérieure; on croit, pour « ainsi dire, converser avec *une pure intelligence*, qui n'au-« rait de la sensibilité humaine que ce qu'il en faut pour se

« faire entendre de nous et intéresser notre faiblesse.....
« La postérité placera les ouvrages du grand naturaliste à
« côté des dialogues du disciple de Socrate et des entretiens
« du philosophe de Tusculum....

« M. de Buffon, plus varié, plus brillant, plus prodigue
« d'images que les deux grands naturalistes de la Grèce et
« de Rome, joint la facilité à l'énergie, les grâces à la ma-
« jesté. Sa philosophie, avec un caractère moins prononcé,
« est plus vraie et moins affligeante. Aristote semble n'avoir
« écrit que pour les savants, Pline pour les philosophes,
« M. de Buffon pour tous les hommes éclairés. »

Après cette citation, je le demande, ferai-je tort à Condorcet si j'avoue que Buffon ne lui témoigna jamais aucune bienveillance; qu'il fut le protecteur le plus actif de ses concurrents pour la place de secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, et pour celle de membre de l'Académie française; que l'idée vivement soutenue auprès des ministres de Louis XVI, d'une censure académique qui eût sans cesse entravé dans sa marche l'historien de vos travaux, appartenait à Buffon; que d'Alembert enfin, lorsqu'il mandait à Lagrange, en date du 15 avril 1775 : « Nous essuyons à l'Aca-
« démie des sciences, M. Condorcet et moi, des tracasseries
« qui nous dégoûtent de toute étude sérieuse, » désignait catégoriquement l'illustre naturaliste. Ces divisions déplorables, sur lesquelles je n'entends, au surplus, émettre aucune opinion, nous ont été révélées par la correspondance de la Harpe et une foule de pièces inédites; mais on en chercherait vainement des traces, et cette remarque a bien son prix, dans les éloges du loyal secrétaire de l'ancienne Académie.

Fontenelle a laissé quelques lacunes dans ses éloges des académiciens morts de 1699 à 1740. Est-ce à dessein? On serait tenté de le croire en remarquant parmi les noms oubliés ceux du duc d'Escalonne, du fameux Law et du père Gouye. Je ne léguerai pas, en ce qui concerne Condorcet, un pareil doute à nos successeurs. S'il ne fit point l'éloge du duc de la Vrillière, c'est qu'à ses yeux, le titre d'honoraire de l'Académie n'avait pas eu le privilége de rendre honorable le ministre qui, toute sa vie, s'était fait un jeu cruel et scandaleux des lettres de cachet. Des amis timides calculaient-ils avec inquiétude le danger d'irriter M. de Maurepas, premier ministre et beau-frère de M. de la Vrillière, Condorcet répondait : « Aimeriez-vous mieux que je fusse persécuté pour « une sottise que pour une chose juste et morale? Songez-y « bien, d'ailleurs : on me pardonnera plus facilement mon « silence que mes paroles, car je suis bien résolu à ne point « trahir la vérité. »

L'homme qui agit ainsi, Messieurs, court le risque de troubler sa vie, mais il honore les sciences et les lettres.

Éloge de Michel de l'Hôpital. Lettre d'un théologien à l'auteur du Dictionnaire des trois siècles. Lettre d'un laboureur de Picardie à M. Necker, prohibitif. Réflexions sur le commerce des blés. Nouvelle édition des Pensées de Pascal. Entrée de Condorcet à l'Académie française.

Nous avons suivi pas à pas, jusqu'ici, le géomètre, le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Maintenant nous verrons notre confrère se jeter dans la polémique ardente des partis littéraires et philosophiques. Plusieurs fois

il y paraîtra sans se nommer, pour ne pas augmenter, disait-il, les ennemis de sa cause de tous les ennemis de sa personne.

Condorcet était déjà secrétaire en titre de notre compagnie, lorsque l'Académie française mit au concours l'éloge de Michel de l'Hôpital. Entraîné par la beauté, par la grandeur du sujet, notre confrère se jeta étourdiment dans la lice, comme aurait pu le faire un jeune homme sans antécédents connus, sans réputation acquise. Il n'obtint pas le prix. On accorda la préférence à la pièce, aujourd'hui complétement oubliée, de l'abbé Rémi.

Il m'a été donné de retrouver quelques-unes des causes qui amenèrent cet échec. Peut-être méritent-elles de nous arrêter un instant.

Que désirait l'Académie française en proposant l'éloge de l'Hôpital pour sujet de prix ? Un aperçu sur les œuvres littéraires de l'illustre chancelier, une appréciation générale de ses actes politiques et administratifs ; un hommage à sa mémoire, écrit d'un style noble et soutenu. Aujourd'hui, ce genre de composition est peu goûté du public ; aussi on se hasarderait presque à qualifier de discours à effet, d'amplification, ce que voulait la célèbre assemblée.

Ce n'est pas ainsi que Condorcet envisagera le thème qu'on lui présente. Dans son esprit, l'utilité prime tout autre genre de mérite. La *vie* de l'Hôpital lui semble pouvoir être offerte en exemple « à ceux qui, se trouvant placés dans des « circonstances difficiles, auraient à choisir entre leur repos « et le bonheur public. » Il n'hésite plus, c'est la *vie* de l'Hôpital qu'il écrira.

La vie de l'Hôpital ! mais c'est l'histoire d'un siècle af-

freux, d'une longue suite de concussions éhontées, de désordres, d'événements barbares, d'actes cruels d'intolérance, de fanatisme. Le cadre devient immense; il ne dépasse, toutefois, ni les forces, ni le savoir, ni le zèle de l'écrivain.

Dans son bel ouvrage, Condorcet nous montre d'abord l'Hôpital en Italie, chez le connétable de Bourbon, au parlement et au concile de Bologne. On le voit ensuite à la tête des finances. Plus tard, c'est le chancelier, le ministre, l'homme d'État, dont les actes se déroulent devant le lecteur.

Une vie si pleine, si glorieuse, ne pouvait être convenablement appréciée dans un écrit de soixante minutes de lecture, comme le demandait l'Académie. Aussi, Condorcet ne tint aucun compte de la prescription : son éloge avait trois fois plus d'étendue que ne le voulait le programme. La mise hors de concours était donc pour notre confrère un événement prévu. Je ne pense pas que nous devions nous montrer aussi faciles au sujet des critiques que l'ouvrage fit naître dans l'aréopage littéraire, et dont l'auteur du Lycée a conservé divers échantillons.

Suivant la Harpe, le *style* de l'éloge de l'Hôpital *manque de nombre*. Le reproche me paraîtrait plus grave si on avait dit, si surtout on avait pu dire : Le style manque de trait, de nerf et de correction; les idées n'ont ni nouveauté ni profondeur. Il est vrai qu'en ce cas la réfutation eût été très-facile, et qu'elle se serait réduite à de courtes citations; à celles-ci, par exemple :

« Si Bertrandi (garde des sceaux d'Henri II) a échappé à « l'exécration des siècles suivants, c'est que, toujours vil au « sein de la puissance; toujours subalterne, même en occu-

« pant les premières places, il fut trop petit pour attirer les « regards.

« Tous les citoyens pleuraient la ruine de leur patrie; « l'Hôpital seul espérait encore. Jamais l'espérance n'aban- « donne les grandes passions. L'amour du bien public était « chez le chancelier une passion véritable; il en avait tous « les caractères, même les illusions. L'Hôpital jugeait les « obstacles, mais il sentait ses forces. »

Le style a de l'obscurité! C'est, ce me semble, un devoir rigoureux de formuler de pareilles critiques avec une incontestable clarté; or, je ne sais ce que la Harpe entend par des « phrases qui se redoublent les unes dans les autres. » Je le comprends parfaitement, au contraire, lorsqu'il nous dit : « Le ton (de Condorcet) est souvent au-dessous d'une « narration noble. Il parle d'*échalas carrés*, de *bûches* et « de *petits pâtés* dans l'éloge d'un chancelier : Bossuet en « aurait été un peu étonné. »

Nous devons nous persuader ici, par esprit de corps, que la remarque de la Harpe n'exerça pas d'influence sur la décision de l'Académie. Savez-vous, en effet, où figurent les termes que vous venez d'entendre; ces termes dont le critique se montre si indigné, que, par voie de contraste, ils reportent ses idées sur l'éloquence majestueuse de l'aigle de Meaux? C'est dans une citation, Messieurs, dans une note où Condorcet signale avec raison les étranges, disons mieux, les déplorables règlements que le *système prohibitif* inspira jadis à l'esprit, cependant, si droit, si élevé, de Michel de l'Hôpital.

Oui, Messieurs, le fait est vrai : le vertueux chancelier défendit de crier des *petits pâtés* dans les rues, et cela, il faut bien l'avouer, car ses expressions n'admettent pas d'équivo-

que, pour ne pas exposer les pâtissiers à l'*oisiveté,* et le public à des *indigestions*. Qu'on en rie aujourd'hui, qu'on s'en étonne tant qu'on voudra, les *bûches* et les *échalas carrés* n'en étaient pas moins proscrits. Les lois de l'époque allaient jusqu'à déterminer la forme des hauts-de-chausse et des vertugadins. De telles citations montrent clairement à quel point les hommes de génie eux-mêmes subissent l'influence de leur siècle; mais je ne saurais, en vérité, à quelle influence Condorcet aurait obéi, s'il eût substitué des périphrases aux expressions techniques que l'Hôpital, de sa main de poëte, consigna dans les lois; s'il avait essayé du style descriptif à propos de vertugadins, d'échalas et de petits pâtés.

Voltaire, en tous cas, était loin de s'associer aux demandes, aux désirs de la Harpe et de ses confrères; car, le 3 octobre 1777, il mandait à M. de Vaines : « Je viens de lire « avec une extrême satisfaction, le l'Hôpital de M. de Con« dorcet : tout ce qu'il fait est marqué au coin d'un homme « supérieur. »

Je trouve ces paroles, non moins significatives, dans une lettre inédite de Franklin : « J'ai lu avec le plus grand plaisir « votre excellent éloge de l'Hôpital. Je savais déjà que vous « étiez un grand mathématicien; maintenant, je vous consi« dère comme un des premiers hommes d'État de l'Europe. »

Même dans cette enceinte, de pareils suffrages ont la valeur d'une décision académique.

« La Lettre d'*un théologien à l'auteur du Dictionnaire des* « *trois siècles*, est un des écrits les plus piquants qu'on ait « publiés depuis quelques années. Cette brochure, sans nom « d'auteur, a été attribuée, généralement, à l'illustre pa-

« triarche de Ferney. Jamais il n'a été trouvé plus gai dans « sa critique et plus malignement bonhomme. »

C'est en ces termes qu'une correspondance devenue depuis publique et célèbre, annonçait, en 1774, l'apparition de l'opuscule *anonyme* de Condorcet.

Voltaire, à qui le secret n'avait pas été divulgué, écrivait à notre confrère, le 20 août 1774 : « Il y a dans la *Lettre « d'un théologien* des plaisanteries et des morceaux d'élo-« quence dignes de Pascal. » Le patriarche prouvait ensuite sans peine que, malgré le bruit public, l'abbé de Voisenon ne pouvait être l'auteur d'une pièce si remarquable. Quant à lui, Voltaire, il espérait échapper au soupçon, car la lettre supposait des connaissances mathématiques profondes, et, ajoutait-il : « Depuis les injustices que j'essuyai « sur les éléments de Newton, j'ai renoncé, il y a quarante « ans, à ce genre d'études. »

Les hardiesses de la *Lettre d'un théologien* causèrent à Voltaire de très-vives inquiétudes. Il s'en expliquait avec tout le monde. Je ne veux pas, disait-il, à quatre-vingt-trois ans mourir ailleurs que dans mon lit. En écrivant à M. d'Argental (17 août 1774), il caractérisait ainsi l'auteur de l'opuscule: « On ne peut être, ni plus éloquent, ni plus maladroit. Cet « ouvrage, aussi dangereux qu'admirable, armera sans doute « les ennemis de la philosophie... Je ne veux ni de la gloire « d'avoir fait la Lettre d'un théologien, ni du châtiment qui « la suivra... Je suis fâché qu'on ait gâté une si bonne cause, « en la défendant avec tant d'esprit. » Ailleurs, Voltaire s'écriait : « Fallait-il donc se permettre de publier un ouvrage « aussi audacieux, quand on ne commandait pas à deux « cent mille soldats. » Il déclarait, enfin, à toute occasion,

sous toutes les formes, ne pas être l'auteur de la Lettre du théologien; mais, qu'on le remarque bien, c'était toujours dans un besoin de repos, dans la crainte de persécutions; jamais dans un intérêt d'amour-propre.

Voyez, au contraire, si, lorsque M. de Tressan attribuait, très-imprudemment, à Voltaire l'épître médiocre d'un prétendu chevalier de Morton, Écossais, le patriarche ne réclamait pas à la fois, et avec une égale vigueur, dans l'intérêt de l'homme et dans celui du poëte : « Je suis, écrivait-il à « Condorcet, le Marphorio à qui l'on attribue toutes les pas- « quinades..... Je ne fais pas des vers tels que ceux-ci;... tels « que ceux-là;..... c'est une honte de me les attribuer. Je « me déciderai à prouver par écrit que ma prétendue épître « ne vaut pas grand'chose. »

Rien de semblable, je le répète, ne se remarque dans les plaintes de Voltaire sur la Lettre d'un théologien. La paternité qu'on lui impute le contrarie vivement, mais c'est seulement à cause des tracasseries qui peuvent en être la suite. Nulle part il ne dit, nulle part il n'insinue même que les suppositions du public aient blessé l'homme de lettres.

Je livre ces réflexions à tous ceux qui, dans leur aveugle passion, ont refusé à Condorcet de la finesse, de la gaieté, du style.

Dans la société de d'Alembert, notre ancien confrère était devenu géomètre. Turgot lui inspira à son tour le goût de l'économie sociale. Leurs idées, leurs espérances, leurs sentiments s'étaient complétement identifiés. Il serait vraiment impossible de citer un seul point d'une science, si ouverte aujourd'hui à la controverse, sur lequel Turgot et Con-

dorcet aient différé, même par d'imperceptibles nuances.

Ils étaient persuadés l'un et l'autre qu'en matière de commerce, « une liberté entière et absolue est la seule loi utile « et même juste ; » ils croyaient que la protection accordée « à un genre particulier d'industrie nuit à leur ensemble ; »... que les précautions minutieuses dont les législateurs avaient cru devoir surcharger leurs règlements, fruits de la timidité et de l'ignorance, étaient, sans compensation aucune, la source de gênes, de vexations intolérables et de pertes réelles.

Turgot et Condorcet s'unirent plus étroitement encore, si j'ose dire, sur la question spéciale du commerce des grains. Ils soutinrent que l'entière liberté de ce commerce était également utile aux propriétaires, aux cultivateurs, aux consommateurs, aux salariés ; que d'aucune autre manière on ne pouvait réparer l'effet des disettes locales, faire baisser les prix moyens et diminuer l'échelle des variations, objet plus important encore, car les prix moyens servent à régler les salaires des ouvriers. Si ces principes rigoureux étaient une invitation formelle à ne jamais céder aux clameurs désordonnées, aux préjugés populaires, d'une autre part, les deux économistes proclamaient hautement que, dans les temps de disette, le gouvernement doit des secours aux pauvres. Ces secours, ils ne voulaient pas les accorder en aveugle ; ils auraient été le prix d'un travail.

Turgot et son ami professaient la maxime qu'il existe, pour tous les hommes, des droits naturels qu'aucune loi ne peut légitimement leur enlever. Parmi ces droits imprescriptibles, ils plaçaient en première ligne celui de disposer de son intelligence, de ses bras et de son travail. Nos philosophes voulaient donc l'abolition d'un grand nombre de formalités

souvent bizarres et toujours coûteuses, qui avaient fait de l'état d'ouvrier un odieux esclavage.

Si les maîtrises, si les jurandes étaient le désespoir des artisans, des ouvriers des villes, les corvées frappaient tout aussi sévèrement les ouvriers des campagnes.

Les *corvées* condamnaient à travailler, sans salaire, des hommes qui n'avaient que leur salaire pour vivre; elles permettaient de prodiguer le travail, parce qu'il ne coûtait rien au trésor royal. La forme des réquisitions, la dureté du commandement, la rigueur des amendes joignaient l'humiliation à la misère. Turgot et Condorcet s'étaient déclarés les plus ardents adversaires de cette cruelle servitude.

Les deux philosophes n'étaient pas de ces hommes qui deviennent tolérants pour le crime, à force de le voir commettre. L'infâme trafic de la traite des nègres avait excité toutes leurs antipathies. Si le temps et l'espace me le permettaient, je pourrais transcrire ici une lettre toute récente de M. Clarckson, dans laquelle ce vénérable vieillard rend un hommage touchant aux efforts actifs de Condorcet, en faveur de la sainte croisade qui a rempli sa longue vie. C'est donc très-légitimement que notre David a placé, sur les bas-reliefs de sa belle statue de Gütenberg, la noble figure de l'ancien secrétaire de l'Académie, parmi celles des premiers, des plus ardents ennemis du « honteux brigandage qui, de-« puis deux siècles, dépeuplait, en le corrompant, le conti-« nent africain. »

A la mort de Louis XV, la voix publique appela Turgot au ministère. On lui confia d'abord la marine; un mois après (le 24 août 1774), les finances.

Dans sa nouvelle et brillante position, Turgot n'oublia

pas le confident intime de ses pensées économiques et philosophiques ; il nomma Condorcet inspecteur des monnaies.

Condorcet accepta cette faveur en des termes qui me semblent mériter d'être conservés. Les voici :

« On dit, dans un certain public, que l'argent ne vous coûte « pas quand il s'agit d'obliger vos amis. Je serais désolé de « donner à ces propos ridicules quelque apparence de fon- « dement. Je vous prie donc de ne rien faire pour moi dans « ce moment. Quoique peu riche, je ne suis pas pressé. Lais- « sez-moi remplir la place de M. de Forbonnais. Chargez- « moi d'un travail important : de la réduction des mesures, « par exemple ; attendez enfin que mes efforts aient vraiment « mérité une récompense. »

Turgot, pendant son ministère, conçut, en 1775, un plan général de navigation intérieure du royaume. Ce plan embrassait un vaste système de travaux pour le perfectionnement des petites et des grandes rivières ; pour le creusement des canaux destinés à relier entre elles ces voies naturelles de communication. Le célèbre ministre avait à se défier également des amateurs du grandiose ; de ceux qui, voyant certaines rivières seulement séparées sur la carte par un peu de papier blanc, tiraient des traits des unes aux autres et appelaient cela leurs projets ; de ceux, enfin, qui ne savaient ni jauger les eaux courantes, ni calculer leurs effets. Aussi s'empressa-t-il d'attacher à son administration trois géomètres de l'Académie des sciences : d'Alembert, Condorcet et Bossut. Leur mission était d'examiner les projets et, plus encore, de remplir les lacunes de l'hydrodynamique qui, souvent, empêchaient de prononcer en connaissance de cause.

Cette création ne survécut pas à la destitution de Turgot. Malgré sa très-courte durée, elle a laissé dans la science des traces durables. Peut-être, cependant, ne s'est-on pas assez souvenu, dans plus d'une circonstance, de ce conseil contenu dans un mémoire de Condorcet au ministre :

« Ne vous fiez qu'aux gens qui, eussent-ils joint la Loire « au fleuve Jaune de la Chine, n'en auraient pas plus de va- « nité pour cela, et ne croiraient avoir eu besoin que de zèle « et de quelques connaissances. »

L'extrait suivant d'une lettre de d'Alembert à Lagrange terminera dignement la courte notice que je viens de donner des travaux exécutés par les trois géomètres amis de Turgot :

« On vous dira que je suis directeur des canaux de navi- « gation avec 6,000 fr. d'appointements. Fausseté! Nous « nous sommes chargés, MM. Condorcet, Bossut et moi, par « amitié pour M. Turgot, de lui donner notre avis sur ces « canaux; mais nous avons *refusé* les appointements que « monsieur le contrôleur des finances nous offrait pour « cela. »

Lorsque Turgot, devenu ministre, voulut réaliser les améliorations qu'il avait conçues comme simple citoyen ; lorsque le contrôleur général des finances se trouva en face de la cupidité des courtisans, de la morgue des parlements et de l'esprit de routine de presque tout le monde; lorsque des soulèvements redoutables eurent fait naître des doutes sur la bonté de ses plans, Condorcet ne resta pas simple spectateur de la lutte; il s'y mêla, au contraire, avec une ardeur extrême.

C'est à la réfutation de l'ouvrage de Necker contre la libre circulation des grains qu'il consacra plus spécialement sa plume. Une première fois, il adopta la forme ironique, dans la prétendue *Lettre d'un laboureur de Picardie à M. Necker prohibitif.* Voltaire, à cette occasion, écrivait à notre confrère, le 7 août 1775 :

« Ah ! la bonne chose, la raisonnable chose, et même la « jolie chose que la *Lettre au prohibitif.* Cela doit ramener « tous les esprits, pour peu qu'il y ait encore à Paris du bon « sens et du bon goût. »

Je n'oserais pas dire que le bon goût et le bon sens avaient déserté la capitale ; mais je sais que la spirituelle *Lettre au prohibitif* ramena peu de monde, et que Condorcet se crut obligé de publier une nouvelle réfutation plus détaillée, plus méthodique, plus complète de l'ouvrage du célèbre et riche banquier génevois.

Ce second écrit était modestement intitulé : *Réflexions sur le commerce des blés.* L'auteur y étudiait, successivement, comment les subsistances se reproduisent, et comment on peut réparer la différence qui se manifeste quelquefois dans les récoltes d'un lieu à l'autre ; la manière dont se règlent, dont se proportionnent les salaires. Il traitait du prix moyen et de son influence, de l'égalisation des prix, des effets de la liberté indéfinie du commerce, des avantages politiques de cette liberté. Condorcet examinait ensuite les prohibitions, soit d'une manière générale, soit dans leurs rapports avec le droit de propriété et avec la législation. Descendant enfin de ces abstractions à des questions un tant soit peu personnelles, quoique dégagées de noms propres, il se demandait comment les auteurs prohibitifs avaient acquis de la popularité ; il

cherchait l'origine des préjugés du peuple proprement dit, et de ceux qui, au sujet du commerce des blés, étaient peuple sans s'en apercevoir; il complétait enfin son œuvre par des réflexions critiques touchant certaines lois prohibitives, et les obstacles qui s'opposaient alors au bien que la liberté pouvait produire.

Toutes les faces d'un très-difficile problème avaient été ainsi franchement abordées, d'un style mâle et sévère. L'ouvrage n'était pas une simple brochure : il embrassait plus de 200 pages d'impression. Sa publication excita un soulèvement général parmi les nombreux clients de Necker. Des personnages du plus haut rang dans les lettres devinrent aussi, à partir de cette époque, les implacables ennemis de Condorcet. L'Académie des sciences et l'Académie française, elles-mêmes, ressentirent d'une manière fâcheuse, et pendant de longues années, l'effet de ces tristes discordes.

L'esprit dégagé de toute prévention, je me suis demandé si notre confrère outre-passa, en cette circonstance, les bornes d'une critique légitime. Je ne suppose pas qu'on ait voulu lui contester la faculté, dont il usa suivant sa conscience, de présenter l'écrit de Necker comme une simple traduction, en langage grave, pompeux, des célèbres dialogues de l'abbé Galiani. Je crois que Condorcet était aussi dans son droit en rappelant, à cette occasion, « une « statue grecque élégante et svelte, qu'un empereur ro- « main fit dorer, et qui perdit toutes ses grâces. » Ceci écarté, en parcourant l'ouvrage de l'ancien secrétaire de l'Académie, je n'y trouve plus qu'une note qui ait pu exciter l'irritabilité des plus chauds partisans de Necker. Cette note fait mention d'un grand seigneur, désigné seulement

par des initiales, qui avait fait une mauvaise traduction de Tibulle. Ses amis, inquiets, voyaient d'avance les critiques troubler son bonheur, et cherchaient à le consoler. « Ne « craignez rien pour ma réputation d'auteur, leur dit-il, je « viens de prendre un meilleur cuisinier. »

La voilà donc connue la terrible épigramme qui troubla la cour et la ville, qui porta la discorde au sein de deux Académies, qui mit en danger la liberté de notre confrère. J'étais très-disposé à la blâmer. J'y mettais pour unique condition que Condorcet ne se trouvait pas en état de légitime défense; que Necker et ses adhérents n'avaient dirigé contre lui et contre Turgot aucune parole blessante : or, tel n'était pas, à beaucoup près, l'état des choses.

Buffon écrivait au célèbre banquier : « Je n'avais rien com« pris à ce *jargon d'hôpital* de ces demandeurs d'aumônes, « que nous appelons économistes. »

Necker accusait les mêmes écrivains « de chercher à trom« per les autres, et de s'en imposer à eux-mêmes. » Il les peignait comme des imbéciles, et s'oubliait même au point de les comparer à des bêtes féroces. Sa brochure contre la libre circulation des grains avait d'ailleurs été publiée, d'une manière fort inopportune, entre les émeutes sanglantes de Dijon et de Paris.

C'est à vous de décider, Messieurs, si celui-là avait bien le droit de se plaindre, qui, après s'être servi d'une dague, n'avait reçu de son adversaire qu'une piqûre d'épingle.

Je disais tout à l'heure comment Condorcet entra dans l'administration des monnaies; il en sortit avec non moins de noblesse. Dès que Necker devint contrôleur général

des finances, notre confrère écrivit à M. de Maurepas :
« Je me suis prononcé trop hautement sur les ouvrages « de M. Necker et sur sa personne, pour que je puisse garder une place qui dépend de lui. Je serais fâché d'être dépouillé, et encore plus d'être épargné, par un homme dont « j'aurais dit ce que ma conscience m'a forcé de dire de « M. Necker. Permettez-donc que ce soit entre vos mains « que je remette ma démission. »

Condorcet n'épuisait pas tellement sa verve sur les hérésies contemporaines, qu'il ne lui en restât encore une bonne part pour combattre les erreurs des anciens auteurs, même des plus illustres.

Personne n'ignore que Pascal s'occupait, peu d'années avant sa mort, d'un ouvrage destiné à prouver la vérité de la religion chrétienne. Cet ouvrage ne fut pas achevé. D'Arnaud et Nicole en publièrent des extraits, sous le titre de : *Pensées de M. Pascal sur la religion et sur quelques autres sujets.* Condorcet, soupçonnant que ce recueil avait été mis au jour dans les intérêts d'un parti et de certains systèmes mystiques, beaucoup plus qu'en vue de la gloire de l'auteur, se procura, au commencement de 1776, une copie complète des manuscrits de Pascal, y puisa divers passages que les solitaires de Port-Royal, dans leurs consciences de jansénistes, s'étaient crus obligés de sacrifier, les coordonna méthodiquement, et composa de l'ensemble un volume de 507 pages in-8°, dont tous les amis de l'auteur reçurent des exemplaires, mais qui ne fut pas mis en vente. Avouons-le franchement, cette nouvelle édition des *Pensées* pêche comme celle de d'Arnaud, quoiqu'en un esprit tout opposé, par des

suppressions systématiques. Hâtons-nous d'ajouter qu'on y trouve un éloge de Pascal, dans lequel le géomètre puissant, le physicien ingénieux, le penseur profond, l'écrivain éloquent sont appréciés de haut, et avec la plus noble impartialité. Condorcet joignit des commentaires critiques à plusieurs pensées de l'illustre auteur. Cette hardiesse, dont Voltaire lui avait déjà donné l'exemple, provoqua d'amers reproches : on la traita comme un sacrilége. Aujourd'hui, le public serait plus indulgent; aujourd'hui, les admirations passionnées sont bien passées de mode, et, si je ne me trompe, il y aurait plutôt à redouter l'excès contraire; aujourd'hui, on ne se demande plus, toutes réserves faites quant à la forme, si telle ou telle critique d'un auteur célèbre est irrévérente, mais si elle est juste. Examinées de ce point de vue, les remarques de Condorcet peuvent être approuvées presque sans restrictions.

Lorsque l'auteur des *Pensées*, poussant la misanthropie jusqu'à ses dernières limites, « met en fait que si tous les « hommes savaient ce qu'ils disent les uns des autres, il n'y « aurait pas quatre amis dans le monde, » j'aime à voir le commentateur protester contre cette décision antisociale, et blâmer Pascal de donner une aussi mauvaise idée de ses amis.

Quand l'illustre écrivain recommande « aux sages de par« ler comme le peuple, en conservant cependant une *pensée « de derrière,* » Condorcet, ce me semble, accomplit un devoir en rangeant la *pensée de derrière* parmi celles dont les *Provinciales* avaient fait une éclatante justice.

Lorsque, dans son ardente guerre contre le sentiment que l'homme nourrit de sa grandeur, Pascal insinue que nos

actions les plus belles sont toujours obscurcies par des pensées d'amour-propre, par l'espérance de la publicité et des applaudissements qu'elle amène à sa suite, je lis avec délices, dans une note du commentateur, cette anecdote touchante empruntée à nos annales maritimes, et qui dément la triste réflexion de Pascal :

« Le vaisseau que montait le chevalier de Lordat était prêt à couler à fond à la vue des côtes de France. Le chevalier ne savait pas nager; un soldat, excellent nageur, lui dit de se jeter avec lui dans la mer, de le tenir par la jambe, et qu'il espère le sauver par ce moyen. Après avoir longtemps nagé, les forces du soldat s'épuisent. M. de Lordat s'en aperçoit, l'encourage; mais enfin le soldat lui déclare qu'ils vont périr tous deux. — Et si tu étais seul? — Peut-être pourrais-je encore me sauver. Le chevalier de Lordat lui lâche la jambe et tombe au fond de la mer. »

Voltaire fit réimprimer à ses frais, en 1778, le livre qui a fait naître ces remarques. Jusque-là, il n'avait reçu qu'une demi-publicité. Voltaire, au faîte de la gloire, devint l'éditeur et le commentateur du jeune secrétaire de l'Académie des sciences ! C'était pour Condorcet un honneur infini, justifié d'ailleurs par le mérite de son opuscule. Me tromperais-je, cependant, si je supposais qu'il se mêlait, à ces légitimes hommages de l'auteur du *Dictionnaire philosophique*, un peu d'animosité contre l'écrivain janséniste ; que l'auteur de la *Henriade*, de *Mérope* et de tant d'admirables poésies légères, voyait avec une secrète joie attaquer l'infaillibilité de l'homme qui, placé aux premiers rangs parmi les prosateurs, avait osé dire, même après la publication du *Cid* et de *Cinna*, que toute poésie n'était en réalité qu'un *jargon*?

Un peu de passion devait conduire la plume de l'illustre poëte, lorsque, dans son appréciation d'un ouvrage où l'éloge est toujours si franc, et la critique toujours si modérée, il disait à Condorcet : « Vous avez montré le dedans de « la tête de Sérapis, et on y a vu des rats et des toiles « d'araignées. »

Dans l'édition que Condorcet a donnée de Pascal, on lit cette pensée si souvent reproduite :

« Parlons selon les lumières naturelles. S'il y a un Dieu, il « est infiniment incompréhensible, puisque n'ayant ni prin- « cipes, ni bornes, il n'a nul rapport à nous ; nous sommes « donc incapables de connaître ni ce qu'il est, *ni s'il est.* »

Le membre de phrase, *ni s'il est,* ne se trouvait pas dans les plus anciennes éditions des œuvres de l'illustre penseur. Condorcet semblait donc s'être permis une inexcusable interpolation, une blâmable supposition de texte. Cette grave conjecture acquit un poids immense, lorsqu'en 1803, M. Renouard, célèbre bibliographe, déclara (ce sont ses propres expressions) qu'une *recherche obstinée* dans les manuscrits de Pascal, conservés à la Bibliothèque royale, ne lui avait point fait découvrir les trois mots contestés.

L'autorité de M. Renouard en pareille matière devait au moins laisser en suspens ceux-là même qui n'avaient jamais douté de la parfaite droiture de Condorcet ; mais est-il permis aujourd'hui d'invoquer le témoignage du célèbre libraire? Ne sait-on pas qu'en 1812, M. Renouard, rendant compte de ses recherches, reconnaissait loyalement que la page 4 du manuscrit presque indéchiffrable de la Bibliothèque contient la pensée de Pascal telle que Condorcet l'a imprimée? Pour couper court à toute supposition gratuite

sur des surcharges du précieux manuscrit, exécutées par la *secte philosophique*, j'ajouterai que les mots contestés se trouvaient déjà dans une édition des *Pensées*, antérieure à celle de Condorcet, et publiée par le père Desmolets.

Je ne laisserai pas échapper l'occasion de justifier Condorcet d'une imputation de même nature, également choquante par sa violence et sa légèreté.

Lisez, Messieurs, l'article *Vauvenargues*, dans l'ouvrage de la Harpe intitulé *Philosophie du XVIIIe siècle*. L'irascible critique vous rappellera d'abord l'éloquente *prière* qui termine le livre du moraliste provençal; aussitôt après, il accusera Condorcet d'avoir affirmé, dans des vues antireligieuses, que la prière n'était pas de Vauvenargues. C'est dans le *Commentaire sur les œuvres de Voltaire* que devait se trouver (les termes sont de la Harpe), que devait se trouver le *mensonge philosophique*.

Jamais, assurément, reproche de cette gravité n'a été articulé en termes moins mesurés et moins équivoques. Quelle sera maintenant ma réponse? La dénégation la plus formelle : Condorcet n'a jamais prétendu que la prière ne fût pas de Vauvenargues : il dit positivement, il dit très-catégoriquement le contraire. Serait-il vrai par hasard qu'il existât un *mensonge antiphilosophique*?

En terminant un de ses meilleurs éloges, celui de Franklin, notre confrère frappait d'un blâme très-sévère les personnages qui règlent leur conduite sur cette maxime ancienne, et d'une morale si relâchée, *La fin légitime les moyens*. Il repoussait avec indignation tout succès obtenu par le mensonge ou la perfidie. Les actions de Condorcet n'ont point démenti ces nobles préceptes; sa vie a été un long

combat, mais il n'a jamais eu recours à des armes déloyales.

Jadis toute nomination à l'Académie française était un événement, particulièrement quand des hommes de cour se mettaient sur les rangs. Condorcet prit part plus d'une fois à ces luttes, mais sans jamais mettre rien en balance avec de vrais titres littéraires.

Saint-Lambert le prie d'écrire à Turgot que l'Académie française serait heureuse de lui donner une marque de sa vénération en le nommant à la place du duc de Saint-Aignan. Condorcet désirait fort que son ami acceptât, mais *à la condition,* bien nettement exprimée, qu'aucun littérateur de profession ne serait agréé par la cour, qui alors était toujours consultée d'avance. Chez notre confrère, l'amour éclairé des lettres primait ainsi l'attachement le plus vrai, le respect le plus profond, une reconnaissance sans bornes.

Ces nobles conseils, il faut le dire, s'adressaient à un homme digne de les apprécier. Turgot fit même plus que son ami ne désirait. Voici sa réponse :

« Remerciez pour moi M. de Saint-Lambert. Ce n'est pas « dans ce moment qu'il conviendrait de fixer les yeux du « public sur moi pour tout autre objet que les affaires de « mon ministère. Je crois qu'il faut tâcher de faire nommer « la Harpe. Si on ne peut pas y réussir, pourquoi l'Académie « ne prendrait-elle pas l'abbé Barthélemy ? Je trouve que « M. Chabanon est traité trop sévèrement. Il n'est point, « quoi qu'on en dise, sans talent. On n'a pas toujours été « aussi sévère. »

Peut-être de notre temps les choses se passent aussi noble-

ment. Même dans cette supposition je n'aurais pas à regretter mes citations, car elles prouveraient que nos pères valaient autant que nous.

Condorcet se mit sur les rangs, en 1782, pour remplacer Saurin à l'Académie française; il ne l'emporta sur Bailly, son concurrent, que d'une seule voix.

« C'est une des plus grandes batailles que d'Alembert ait « gagnées contre Buffon, » mandait Grimm à son correspondant d'outre-Rhin. Je lis ailleurs que, ce jour-là, on fit assaut de finesse à l'Académie comme dans un conclave. La Harpe ne donnait pas une moindre idée du *zèle dévorant* qu'on avait montré de part et d'autre, quand il rapportait qu'à l'issue du scrutin, d'Alembert s'était écrié en pleine Académie : *Je suis plus content d'avoir gagné cette victoire que je ne le serais d'avoir trouvé la quadrature du cercle.*

La défaveur que cette nomination fit rejaillir sur Condorcet (l'expression non déguisée de cette défaveur se lit dans la plupart des écrits de l'époque), m'a paru vraiment inexplicable. Les titres littéraires de Bailly avaient-ils donc une supériorité tellement évidente, qu'on ne pût consciencieusement leur préférer ceux du secrétaire de l'Académie des sciences? Des rêveries relatives à un ancien peuple qui nous aurait tout appris, disait malicieusement d'Alembert, excepté son nom et celui du lieu qu'il habitait, primaient-elles de haute lutte des appréciations savantes, ingénieuses, souvent élégantes, des œuvres de nos contemporains?

En tout cas, s'il était vrai que Condorcet se fût trompé sur ses droits au fauteuil académique, il aurait cédé à une illusion bien naturelle. Dans la *Correspondance inédite* de Vol-

taire, que j'ai si souvent citée, je lis à la date de 1771 : « Il « faut que vous nous fassiez l'honneur d'être de l'Académie « française. Nous avons besoin d'hommes qui pensent comme « vous. »

Regarde-t-on cette invitation comme une politesse sans conséquence? Je franchis un intervalle de cinq années, et le 26 février 1776, je trouve dans une autre lettre de l'illustre poëte :

« Soyez de notre Académie. Votre nom et votre éloquence « imposeront du moins à la secte des sicaires qui s'établit « dans Paris. »

Le même désir se reproduit, avec quelques variantes, dans plusieurs lettres du mois de mars. Celle du 16 contient ce passage :

« Je vous répète que si vous ne me faites pas l'honneur « d'être des nôtres cette fois-ci, je m'en vais passer le reste « de ma jeunesse à l'Académie de Berlin ou à celle de Péters- « bourg. »

Le vieillard devenait ensuite plus pressant : « Je veux que « vous me promettiez, écrivait-il le 9 avril 1776, pour ma « consolation, de daigner prendre ma place à l'Académie « des paroles, quoique vous soyez le soutien de l'Académie « des choses, et d'être reçu par M. d'Alembert. J'irai me « présenter là-haut, là-bas, ou nulle part avec plus de con- « fiance. »

Voltaire doute de tout, excepté du mérite, de l'attachement et de la reconnaissance de notre confrère.

Nous sommes au commencement de 1776. A la fin de l'année suivante, le 24 novembre 1777, l'auteur de *Mérope* écrivait encore à notre ancien secrétaire :

« Je serai tendrement attaché, tant que je respirerai, à « celui qui fait la gloire de l'Académie des sciences, et je « souhaite qu'il daigne un jour faire la nôtre. »

Lorsque l'histoire littéraire fait tristement mention de tant de candidats qui n'arrivèrent à l'Académie qu'après avoir été longtemps solliciteurs, il devait m'être permis de montrer un homme de lettres devenant académicien après avoir été longtemps sollicité.

Condorcet exécuteur testamentaire de d'Alembert. Son mariage avec mademoiselle de Grouchy.

Le cours ordinaire, le cours régulier des choses de ce monde, jette des jours de deuil, de larmes, de profonde douleur, même au milieu de la vie la moins troublée. Condorcet l'éprouva en 1783. Cette année, le 29 octobre, la mort lui ravit le géomètre illustre qui, dans toutes les circonstances, fut son guide, son appui, son père d'adoption.

Le grand homme qui venait de succomber dans la plénitude de son génie mathématique, avait pris pour règle de conduite cette maxime que beaucoup trouveront sans doute bien puritaine : « L'usage de son superflu n'est pas légitime, « lorsque d'autres hommes sont privés du nécessaire. »

D'Alembert mourut donc sans aucune fortune. Dans ses derniers jours, il ne fut pas seulement en proie à de cruelles douleurs physiques, d'une horrible maladie (conséquences de la pierre); peut-être ressentait-il plus vivement encore l'impossibilité où sa générosité constante l'avait réduit, de recon-

naître convenablement les soins de deux vieux serviteurs. Un souvenir de l'antiquité traverse tout à coup l'esprit du célèbre académicien et y porte la sérénité : Eudamidas légua jadis à deux de ses amis le soin de nourrir sa mère, de marier sa fille ; une disposition testamentaire léguera à Condorcet la mission de pourvoir annuellement aux besoins de deux malheureux domestiques. La mission dura longtemps : Condorcet l'avait mise au nombre de ses premiers devoirs ; il la remplit toujours avec un scrupule religieux. Le général et Madame O'Connor ont suivi son exemple.

Vous le savez, Messieurs, c'est à l'école philosophique du XVIIIe siècle que nous devons l'expression si heureuse de *bienfaisance*. Peut-être consentira-t-on maintenant à reconnaître qu'en enrichissant la langue, cette école n'entendait pas créer seulement un vain mot.

Les devoirs de secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences ; l'obligation d'entretenir une correspondance active avec les hommes instruits de tous les pays civilisés ; un penchant irrésistible à prendre part aux débats dont l'organisation politique et sociale du pays était chaque jour l'objet, décidèrent Condorcet, de très-bonne heure, à renoncer au grand monde. Le sacrifice ne dut pas lui coûter beaucoup, car dans l'éloge de Courtanvaux il avait défini ce tourbillon : *la dissipation sans plaisir, la vanité sans motif, et l'oisiveté sans repos.* En dehors de ses relations scientifiques, notre confrère ne fréquentait qu'un très-petit nombre de sociétés choisies, où, en contact avec les hommes éminents de l'époque, les jeunes gens apprenaient à discuter les questions les plus ardues, avec mesure, avec délicatesse, avec modestie. C'est dans

une de ces réunions de famille que Condorcet rencontra, pour la première fois, en 1787, mademoiselle Sophie de Grouchy, nièce par sa mère de MM. Fréteau et Dupaty, présidents au Parlement. Comme tout le monde, notre confrère admira d'abord la rare beauté, les manières distinguées, l'esprit brillant et cultivé de cette jeune personne. Bientôt après, il découvrit que ces agréments s'alliaient au caractère le plus élevé, au cœur le plus droit, à une âme forte, à des sentiments inépuisables de charité. Condorcet devint alors vivement épris de mademoiselle de Grouchy et la demanda en mariage. Notre confrère avait 43 ans, et des revenus assez médiocres; mais telle était la vivacité de sa passion, qu'il n'eut pas même la pensée de parler une seule fois de fortune à ses futurs parents; que le mot de *dot* ne figure point dans son contrat.

Nous voilà bien loin du caractère calculateur, glacial, qu'on a prêté à Condorcet. Eh! Messieurs, c'est que ce caractère supposé, dont j'aurai l'occasion de parler plus d'une fois, avait été modelé sur celui de divers académiciens pour qui notre confrère professait une amitié, une admiration sans limites, et avec lesquels on supposa à tort qu'il sympathisait de toute manière, et sur tous les sujets.

Dans ce temps-là, sauf de rares exceptions, les savants, les mathématiciens, surtout, étaient regardés dans le monde comme des êtres d'une nature à part. On aurait voulu leur interdire le concert, le bal, le spectacle, comme à des ecclésiastiques. Un géomètre qui se mariait semblait enfreindre un principe de droit. Le célibat paraissait la condition obligée de quiconque s'adonnait aux sublimes théories de l'analyse. Le tort était-il tout entier du côté du public? Les

géomètres ne l'avaient-ils pas eux-mêmes excité à voir la question sous ce jour-là? Écoutez, Messieurs, et jugez :

D'Alembert reçoit indirectement de Berlin la nouvelle que Lagrange vient de donner son nom à une de ses jeunes parentes. Il est quelque peu étonné qu'un ami, avec lequel il entretient une correspondance suivie, ne lui en ait rien dit. Cela même ne le détourne pas d'en parler avec moquerie : « J'apprends, lui écrit-il le 21 septembre « 1767, j'apprends que vous avez fait ce qu'entre nous « philosophes nous appelons le *saut périlleux*..... Un « grand mathématicien doit, avant toutes choses, savoir cal- « culer son bonheur. Je ne doute donc pas qu'après avoir « fait ce calcul, vous n'ayez trouvé pour solution le *ma- « riage.* »

Lagrange répond de cette étrange manière : « Je ne sais si « j'ai bien ou mal calculé, ou, plutôt, je crois n'avoir pas « calculé du tout; car j'aurais peut-être fait comme Leibnitz « qui, à force de réfléchir, ne put jamais se déterminer. Je « vous avouerai que je n'ai jamais eu du goût pour le ma- « riage,..... mais les circonstances m'ont décidé..... à « engager une de mes parentes..... à venir prendre soin « de moi et de tout ce qui me regarde. Si je ne vous en ai « pas fait part, c'est qu'il m'a paru que la chose était si in- « différente d'elle-même, qu'elle ne valait pas la peine de « vous en entretenir. »

Le mariage de Condorcet m'aurait paru, aussi, une chose parfaitement indifférente et ne point mériter de mention dans cette biographie, si, comme le voulait d'Alembert, il avait été le résultat d'un calcul; j'ai dû, au contraire, faire remarquer que, sans calcul d'aucune sorte, en obéissant aux ins-

pirations d'un cœur sensible, Condorcet eut le bonheur de trouver une compagne digne de lui.

La beauté, les grâces, l'esprit de madame de Condorcet produisirent une sorte de miracle. Les adversaires les plus décidés du mariage des savants, entre autres, la mère du duc de la Rochefoucauld, la respectable duchesse d'Enville, allèrent en effet jusqu'à dire à notre ancien secrétaire : *Nous vous pardonnons!*

Condorcet homme politique : membre de la municipalité de Paris ; commissaire de la trésorerie nationale ; membre de l'Assemblée législative ; membre de la Convention ; son vote dans le procès de Louis XVI.

Nous allons maintenant entrer dans une série de considérations et d'événements d'une tout autre nature. Condorcet va jouer un rôle dans les événements les plus graves de notre révolution.

S'il est vrai, comme le disait un diplomate célèbre, que la parole serve souvent à déguiser sa pensée, on peut ajouter qu'en certaines circonstances le silence est un moyen fort peu équivoque de la faire deviner. Supposons, par exemple, que je me taise aujourd'hui sur la vie politique de Condorcet ; qui ne croira qu'elle s'est exclusivement composée d'actes blâmables? Dieu me préserve de donner lieu volontairement à une conjecture si contraire à la vérité. Je ne puis consentir à devenir tacitement l'auxiliaire des pamphlétaires nombreux qui se ruèrent jadis avec une sorte de fureur, contre l'ancien secrétaire de cette Académie. Chacun, dans sa propre cause, est assurément le maître de ré-

pondre par le mépris à de méprisables adversaires ; mais le mépris *implicite* ne suffit pas à celui dont la mission est de défendre un citoyen honorable, un confrère illustre, victime des plus basses calomnies.

Dans la société de Turgot, notre confrère était devenu un homme de progrès, non-seulement en économie sociale, mais aussi en politique. Placé très-près du pouvoir pendant dix-huit mois, il vit, jusque dans les détails les plus secrets, le jeu des rouages vermoulus de l'ancienne monarchie. Condorcet apprécia leur insuffisance, et quoique des changements dussent lui être personnellement préjudiciables, il ne laissa jamais échapper l'occasion d'en proclamer la nécessité. Je ne sais si ce noble désintéressement est aujourd'hui commun ; il ne l'était pas, du moins, au temps dont je parle : témoin le fermier général jouissant à ce titre de deux à trois cent mille livres de rente, lequel, s'adressant à Condorcet, lui disait naïvement : *Pourquoi donc innover, Monsieur? Est-ce que nous ne sommes pas bien?*

Non, assurément, les honnêtes gens n'étaient pas bien dans un temps où Turgot, ministre, mandait à notre confrère : « Vous avez grand tort de m'écrire par la poste; vous « nuirez ainsi à vous et à vos amis. Ne m'écrivez donc rien, « je vous en prie, que par des occasions ou par mes cour- « riers. »

Le cabinet noir décachetant les lettres adressées à un ministre! En faut-il davantage pour caractériser une époque?

Pour connaître les améliorations dont la France était avide, Condorcet n'eut pas besoin, en 1789, de consulter les instructions que les membres de l'Assemblée constituante apportaient de tous les points du royaume. Son programme,

parfaitement conforme d'ailleurs aux cahiers les mieux conçus des assemblées provinciales, était rédigé d'avance ; il en avait trouvé les éléments dans une étude philosophique et approfondie des droits naturels dont une société bien organisée ne doit pas, ne peut pas priver le plus humble citoyen. Les idées, les vœux, les espérances de notre confrère formaient le couronnement de la *Vie de Turgot*, publiée en 1786. Aujourd'hui même que la plupart des institutions réclamées par Condorcet, au nom de la raison et de l'humanité, ont été définitivement conquises, les publicistes pourront encore beaucoup apprendre en lisant le travail de notre confrère. Ils y verront avec étonnement peut-être, mais aussi avec une entière évidence, que le principe vague du *plus grand bien de la société* a souvent été une source féconde de mauvaises lois, tandis qu'on arriverait sur toute question à des règlements, à des prescriptions dont la raison publique proclamerait hautement la nécessité et la justice, en visant sans relâche au maintien de la jouissance des droits naturels.

Je ne sais si, dans la disposition actuelle des esprits, mon appréciation de l'œuvre de l'illustre philosophe aurait l'assentiment général; j'ose affirmer, du moins, que tout homme loyal n'éprouverait qu'un sentiment de respect, en voyant avec quelle vigueur, dès l'année 1786, le marquis Caritat de Condorcet attaquait les priviléges nobiliaires.

Condorcet, après de fortes études, avait écrit, sous la dictée de sa conscience, le mandat impératif qu'il s'imposerait si jamais les circonstances lui donnaient quelque pouvoir politique. J'aperçois, dans ce programme, divers points sur lesquels notre confrère ne croyait pouvoir admettre aucune transaction, et qui cependant n'ont été

résolus conformément à ses vues, ni en fait par la plupart de nos assemblées, ni théoriquement par la majorité des publicistes.

Condorcet ne voulait pas deux chambres; mais ce qu'il demandait surtout, ce qui lui semblait devoir être la base d'une organisation sociale bien entendue, c'était un moyen légal et périodique de reviser la constitution, d'en modifier pacifiquement les parties défectueuses.

La combinaison de deux chambres paraissait à notre confrère une complication inutile, et qui, dans certains cas, devait conduire à des décisions évidemment contraires au vœu de la majorité. Il croyait avoir prouvé qu'on peut trouver, « dans *la forme des délibérations* d'une seule assemblée, tout « ce qui est nécessaire pour donner à ses décisions la lenteur, « la maturité qui répondraient de leur vérité, de leur sa- « gesse. » Franklin, partisan décidé d'une seule chambre, fortifia Condorcet dans ses idées. L'éloge de ce grand homme fournit plus tard à notre confrère une occasion naturelle, dont il se saisit avec empressement, de les développer devant l'Académie.

Déjà aussi, dans ce même éloge, le savant secrétaire signalait, comme une source inévitable de désordres et de maux, toute constitution prétendue éternelle, toute constitution qui n'aurait rien prévu sur les moyens de changer celles de ses dispositions qui cesseraient d'être en harmonie avec l'état de la société.

Chez Condorcet, simple citoyen ou membre de nos assemblées, l'homme politique s'est réellement concentré dans ces deux idées : il est des droits naturels, des droits imprescriptibles, qu'aucune loi ne peut enfreindre sans injustice;

les constitutions politiques doivent renfermer en elles-mêmes un moyen légal d'en réformer les abus. C'était là son évangile. Partout où ses principes favoris sont combattus ou simplement mis en question, il accourt. Son langage alors se colore, s'anime, se passionne; lisez, par exemple, ce passage d'une lettre que Condorcet écrivit le 30 août 1789, au moment où l'Assemblée constituante venait de repousser la proposition faite par Mathieu de Montmorency, d'aviser, à l'aide d'une disposition expresse, aux perfectionnements futurs du pacte fondamental :

« Si nos législateurs prétendent travailler pour l'éternité, « il faut faire descendre la constitution du ciel, auquel on a « seul accordé jusqu'ici le droit de donner des lois immua- « bles; or, nous avons perdu cet art des anciens législateurs « d'opérer des prodiges et de faire parler des oracles. La « Pythie de Delphes et les tonnerres du Sinaï sont depuis « longtemps réduits au silence. Les législateurs d'aujourd'hui « ne sont que des hommes qui ne peuvent donner à des hom- « mes, leurs égaux, que des lois passagères comme eux. »

Les premières fonctions que Condorcet ait remplies dans l'ordre politique sont celles de membre de la municipalité de Paris. A ce titre, il fut le rédacteur de l'adresse célèbre que la ville présenta à l'Assemblée constituante pour demander la réforme d'une loi très-importante, de la loi qu'on venait de voter, et qui faisait dépendre le droit de cité et les autres droits politiques de la quotité des contributions. Les réclamations de Condorcet et de ses collègues ne restèrent pas sans effet.

Condorcet exerçait encore ses fonctions municipales lors-

qu'il demanda, mais cette fois en son nom personnel, que le roi fût toujours tenu de prendre ses ministres dans une liste d'éligibles dont la formation eût figuré parmi les principales prérogatives de l'Assemblée représentative. Une pareille méthode empêcherait-elle de mauvais choix? En vérité, je n'oserais pas l'affirmer. Je suis plus certain que la liste de candidats serait très-difficile à faire, et qu'elle donnerait lieu à de laborieux scrutins.

Condorcet était beaucoup plus dans le monde réel quand il signalait les dangers attachés à la création des assignats, quand il indiquait des moyens à peu près infaillibles de parer à tous les inconvénients de ce papier-monnaie.

La fuite du roi et les circonstances de son retour jetèrent le découragement dans l'esprit des partisans les plus décidés du système monarchique. Les la Rochefoucauld, les Dupont de Nemours, etc., tinrent même des réunions où les moyens d'établir la république sans de trop violentes secousses étaient très-sérieusement discutés. Ce projet fut ensuite complétement abandonné. Condorcet, membre actif de ces débats extra-parlementaires, ne se crut pas lié par les décisions de la majorité à garder le secret sur les opinions qu'il avait émises. Il laissa lire ses discours au *Cercle social*. Cette assemblée les fit imprimer. De ce moment date la malheureuse rupture qui, brusquement et sans retour, sépara notre confrère de ses meilleurs, de ses plus anciens amis, et en particulier du duc de la Rochefoucauld.

Quand les questions que l'arrestation de Varennes devait inévitablement soulever arrivèrent à la tribune nationale, Condorcet, quoiqu'il ne fût pas membre de l'Assemblée, y devint l'objet d'attaques, d'injures personnelles les plus vio-

lentes. L'illustre publiciste admettait sans difficulté que ses opinions pussent être entachées d'erreur ; mais en interrogeant la vie de ceux qui lui faisaient une guerre si acharnée, leurs superbes dédains excitaient sa surprise. « Il se demandait (je copie ici un passage manuscrit) s'il était excessivement ridicule qu'un géomètre de quarante-huit ans, qui « depuis près d'un tiers de siècle cultivait les sciences politiques ; qui le premier, peut-être, avait appliqué le calcul à « ces sciences, se fût permis d'avoir une opinion personnelle « sur les questions débattues à l'Assemblée constituante. »

Les mœurs parlementaires ne s'étaient pas encore développées. Condorcet ne pouvait deviner qu'un jour viendrait où, pour être admis à discourir sur toute chose, il faudrait impérieusement n'avoir fait ses preuves en aucun genre.

En 1791, après avoir quitté la municipalité de Paris, Condorcet devint un des six commissaires de la trésorerie nationale.

Les mémoires qu'il publia à cette époque occuperaient une grande place dans l'éloge d'un auteur moins fécond et moins célèbre. Pressé par le temps et par les matières, je ne puis pas même en faire connaître les titres.

Condorcet ayant renoncé, vers les derniers mois de 1791, à la place de commissaire de la trésorerie, se porta à Paris comme candidat pour l'Assemblée législative. Jamais candidature ne fut plus vivement combattue ; jamais la presse salariée n'enfanta plus de libelles. Il était de mon devoir de chererchcr ces productions de l'esprit de parti et de les apprécier ; mais je ferais injure à l'auditoire qui m'écoute si

j'entreprenais d'en donner ici l'analyse. Je l'avouerai, toutefois, au milieu d'un torrent d'accusations calomnieuses et absurdes, j'avais aperçu une assertion tellement nette, tellement catégorique, qu'en l'absence d'une dénégation également formelle, que je ne trouvais nulle part, le fait imputé à notre confrère m'inspirait un véritable malaise. Grâce au respectable M. Cardot, longtemps secrétaire de Condorcet, tous les nuages ont disparu. Condorcet, disait le pamphlétaire, fréquentait nuitamment la cour, et surtout *Monsieur*, à l'instant même où il les attaquait par ses écrits; voici les noms des personnes qui témoigneront de la réalité de ces communications clandestines. « Oui! oui! s'est écrié quand je l'ai consulté, le chef de notre secrétariat; oui, j'ai eu connaissance de cette grave imputation; mais je me souviens que, toute vérification faite, il fut constaté que le visiteur mystérieux était, non Condorcet, secrétaire perpétuel de l'Académie, mais le comte d'Orsay, premier maréchal des logis dans la maison de Monsieur, frère du roi. »

Vous le voyez, Messieurs, en temps de haines politiques, la réputation du plus honnête homme peut être compromise, même par une équivoque.

A peine nommé à l'Assemblée législative, Condorcet en devint un des secrétaires. Plus tard, il fut élevé à la présidence. De la timidité, une grande faiblesse de poumons, l'impossibilité de garder du sang-froid, de la présence d'esprit au milieu du bruit, des agitations, des mouvements tumultueux d'une nombreuse réunion, le tinrent éloigné de la tribune; il n'y monta que dans des circonstances fort rares: mais quand l'Assemblée voulait adresser au peuple français, aux armées, aux factions intérieures, aux nations étrangères,

des paroles graves et nobles, c'était presque toujours Condorcet qui devenait son organe officiel.

Ici vient se placer, par sa date, une motion de Condorcet dont je ne puis me dispenser de parler. Cette motion, je suis certain qu'on en a singulièrement exagéré la portée. De telles paroles, je ne les ai tracées qu'après y avoir mûrement réfléchi, car elles me mettent en opposition directe avec un des hommes les plus illustres de notre temps. Il faut une vive confiance dans la puissance de la vérité pour oser l'opposer toute nue à une erreur certainement involontaire, mais appuyée des prestiges de la plus haute éloquence.

L'histoire parlementaire n'offre peut-être rien de plus émouvant, de plus curieux, que l'analyse de la séance de l'Assemblée constituante du 19 juin 1790. Ce jour-là, pendant qu'Alexandre Lameth sollicitait la suppression de quatre figures enchaînées qui se voyaient alors, place des Victoires, aux pieds de la statue de Louis XIV, un obscur député du Rouergue, M. Lambel, s'écria de sa place : « C'est aujourd'hui le tombeau de la vanité; je demande qu'il soit fait défense à toutes personnes de prendre les titres de duc, de marquis, de comte, de baron, etc. » Charles Lameth enchérit aussitôt sur la proposition de son collègue; il veut que personne ne puisse à l'avenir s'appeler *noble*. Lafayette trouve les deux demandes tellement nécessaires, qu'il juge superflu de les appuyer par de longs développements. Alexis de Noailles vote comme les préopinants, mais il croit la suppression des livrées également urgente. M. de Saint-Fargeau désire qu'on ne porte plus d'autre nom que celui de sa famille, et signe incontinent sa motion : Michel-Louis le Pelletier. Enfin, Mathieu de Montmorency ne veut pas qu'on épargne

une des marques les plus apparentes du système féodal, les armoiries; il en réclame l'abolition immédiate.

Ces propositions sont présentées, discutées, adoptées presque en aussi peu de temps que j'en ai mis à les rappeler.

En tout ceci, le nom de notre confrère n'a pas été prononcé, par la raison très-simple que Condorcet n'était pas membre de l'Assemblée constituante. Dans l'opinion, d'ailleurs très-problématique, où ce fût une faute de rompre ainsi brusquement toute liaison entre le passé et le présent, ce ne serait pas à notre ancien secrétaire qu'il faudrait l'imputer. On a même su depuis peu, par les mémoires de Lafayette, que, sur la question des armoiries, le savant philosophe n'adoptait pas le système de Montmorency. Il lui eût paru plus conforme aux vrais principes de la liberté, de permettre à chacun, ancien noble, roturier, artisan, prolétaire, de prendre des armes à sa fantaisie, que de procéder par voie de suppression.

La loi sur l'abolition des titres nobiliaires n'avait rien spécifié concernant les peines qui seraient attachées aux infractions. Une pareille loi, une loi dépourvue de sanction, n'est observée dans aucun pays et tombe bientôt en désuétude. Ce fut sans doute pour rappeler son existence que le jour anniversaire de la séance où l'Assemblée constituante la vota, que le 19 juin 1792, l'Assemblée législative fit brûler à Paris une immense quantité de brevets ou diplômes de ducs, de marquis, de vidames, etc. La flamme pétillait encore au pied de la statue de Louis XIV; le dernier aliment qu'on lui fournissait était peut-être le titre original des marquis Caritat de Condorcet, lorsqu'à la tribune nationale l'héritier de cette famille demanda qu'on étendît la même

mesure à toute la France. La proposition fut adoptée *à l'unanimité.*

Cette proposition a été textuellement recueillie et insérée au *Moniteur* (1). Elle n'est évidemment relative qu'aux *titres* nobiliaires. Partisan décidé de l'unité dans le pouvoir législatif, Condorcet espérait dérouter ses adversaires, ceux qui méditaient alors la création de deux chambres, en faisant disparaître les parchemins qu'ils semblaient vouloir consulter pour composer le personnel de leur sénat. L'artifice était peut-être mesquin, puéril; toutefois, cela n'autorisait pas un écrivain illustre, l'honneur de notre littérature, à le présenter comme la cause immédiate de l'abandon de plusieurs travaux historiques, car ces travaux avaient entièrement cessé une année auparavant, en 1791. Cela autorisait encore moins un journal grave et d'une date récente, à nous dire que, nouvel Omar, Condorcet *fit brûler les immenses travaux des congrégations savantes*, car ces travaux ne furent point brûlés; car, le discours est là, notre confrère n'avait absolument parlé que de titres, que de diplômes nobiliaires; car, enfin, et cet argument moral est à mes yeux plus fort encore que des faits positifs et des dates, il n'a jamais pu exister une chambre française, produit du monopole ou du droit commun, avec des élections à un, à deux, à mille degrés, qui eût voulu sanctionner par un vote *unanime* la proposition barbare, anti-littéraire, anti-historique, anti-nationale, si légèrement attribuée à l'ancien secrétaire de l'Académie.

---

(1) Voir le discours de Condorcet du 19 juin 1792.

C'est vers cette époque, et non postérieurement à la condamnation de Louis XVI, comme on l'a supposé par erreur, que, sur les ordres formels de Catherine et de Frédéric, Guillaume, le nom de Condorcet fut effacé de la liste des membres composant les Académies de Pétersbourg et de Berlin. Malgré toutes mes recherches, je n'ai pas pu découvrir si ces deux actes de mécontentement affligèrent beaucoup notre ancien secrétaire. Pas une ligne, pas un seul mot de ses nombreux manuscrits, de ses ouvrages imprimés, n'a trait à cet événement. Condorcet imagina, peut-être, que les confirmations impériales et royales ayant peu ajouté à la valeur réelle des titres littéraires dont on l'avait revêtu, il pouvait regarder le retrait de ces confirmations comme un fait sans portée et peu digne de son attention.

Condorcet avait vu naître, dans l'Assemblée législative, les dissensions personnelles qui, après s'être envenimées, devaient ensanglanter la Convention et conduire le pays sur le bord d'un abîme. Il ne voulut jamais prendre part à tous ces combats, lorsqu'ils semblaient se donner pour des noms propres. Si ses amis lui dépeignaient l'exaltation frénétique de quelques députés de la Montagne : « Il vaudrait mieux, « répondait-il, essayer de les modérer que de se brouiller « avec eux. » Plusieurs fois il fit retentir aux oreilles des factions ces paroles pleines de sagesse : « Occupez-vous un « peu moins de vous-mêmes, et un peu plus de la chose pu- « blique. »

En temps d'agitations révolutionnaires, celui que les principes seuls passionnent, est bientôt accusé de faiblesse par tous les partis. Tel fut le sort de Condorcet. Voyez, d'une

part, ce passage de madame Rolland : « On peut dire de « l'intelligence de Condorcet, en rapport avec sa personne, « que c'est une liqueur fine imbibée dans du coton. » Voyez, de l'autre, le corps électoral de Paris, alors, complétement jacobin : appelé à nommer ses représentants à la Convention, il retire à Condorcet le mandat dont il l'avait investi pour l'Assemblée législative.

Bientôt, dans cette même Convention où cinq départements, à défaut de celui de la Seine, appelèrent Condorcet, nous verrons si on ne peut pas être à la fois de *coton,* pour les questions de personnes, et de bronze pour les questions de principes.

Condorcet figura parmi les juges de Louis XVI. Je sais que, par une sorte de convention tacite, il est d'usage de considérer cette période de notre histoire comme un terrain brûlant sur lequel on ne saurait s'arrêter sans imprudence. Je crois, Messieurs, une pareille réserve fâcheuse. Le mystère dans lequel on s'enveloppe tend à faire penser qu'à l'éternelle honte du caractère national, aucune vue patriotique, aucun acte de courage, aucune idée élevée, aucun sentiment de justice ne se firent jour pendant la longue durée du drame lugubre.

La portion nombreuse du public à qui le *Moniteur* et les autres sources officielles sont interdits, à cause de leur haut prix ou de leur rareté, ne connaît déjà plus cette partie de nos annales que par quelques phrases barbares, dont plusieurs vont se répétant de génération en génération, sans être pour cela moins contraires à la vérité. La pruderie, qui, en pareilles circonstances, détournerait l'historien d'attacher à

chaque personnage sa part réelle de responsabilité, serait, suivant moi, inexcusable. Je vous dirai donc fidèlement, et sans réticence, ce que fut Condorcet dans le célèbre procès.

Le roi pouvait-il être jugé? Son inviolabilité n'était-elle pas absolue aux termes de la constitution? La liberté serait-elle possible dans un pays où la loi positive cesserait d'être la règle des jugements? Ne violerait-on pas un axiome éternel, fondé sur l'humanité et sur la raison, en poursuivant des actes qu'aucune loi *antérieure* à leur perpétration n'aurait qualifiés de délit ou de crime? Ne serait-il pas aussi d'une stricte justice que le mode de jugement eût été réglé avant l'époque du crime ou du délit? Devait-on espérer qu'un souverain déchu trouverait des juges impartiaux parmi ceux qu'il appelait naguère ses sujets? Si Louis XVI n'avait pas compté sur une inviolabilité absolue, pouvait-on assurer qu'il aurait accepté la couronne?

Voilà, Messieurs, la série de questions, assurément bien naturelles, que Condorcet porta à la tribune de la Convention, et qu'il soumit à une discussion sévère avant le commencement du procès de Louis XVI. Ne devais-je pas les énumérer, ne fût-ce que pour montrer à quel point se trompent ceux à qui l'histoire de notre révolution étant seulement connue par une sorte de tradition orale, se représentent *tous* les conventionnels comme des tigres altérés de sang, ne prenant même aucun souci de couvrir leurs fureurs des simples apparences du droit ou de la légalité.

Condorcet reconnaissait que le roi était inviolable, que le pacte constitutionnel le couvrait sans réserve pour tous les actes du pouvoir qui lui était délégué.

Il ne croyait pas, en thèse générale, que la même garantie

dût s'étendre à des délits personnels, s'ils étaient sans liaison nécessaire avec les fonctions royales. Les codes les plus parfaits, disait encore Condorcet, renferment des lacunes. Celui de Solon, par exemple, ne faisait aucune mention du parricide. Le monstre coupable d'un tel crime serait-il resté impuni ? Non, sans doute; on lui eût appliqué la peine des meurtriers.

En admettant des condamnations par analogie, Condorcet voulait, du moins, que le tribunal, constitué en dehors du droit commun, reposât sur des dispositions favorables à l'inculpé : ainsi, le droit de récusation plus étendu; ainsi, la nécessité d'une plus grande majorité pour la condamnation, etc. Suivant lui, le jugement du roi devait être confié à un jury spécial, nommé dans la France entière, par les colléges électoraux.

Le droit de punir ne paraissait pas aussi incontestable à notre confrère que le droit de juger. L'idée d'une sentence, en quelque sorte morale, semblera peut-être bizarre. Condorcet y voyait l'occasion de montrer à l'Europe, par une discussion juridique et contradictoire, que le changement de la constitution française n'avait pas été l'effet du simple caprice de quelques individus.

Après avoir développé les opinions vraies, fausses ou controversables que vous venez d'entendre, Condorcet déclarait, avec non moins de sincérité, que, sous peine de violer les premiers principes de la jurisprudence, la Convention ne pouvait pas juger le roi. La justice politique était à ses yeux une véritable chimère. Une même assemblée à la fois législatrice, accusatrice et juge, s'offrait à ses yeux comme une monstruosité de l'exemple le plus dangereux. Dans tous les

temps, ajoutait-il, et dans tous les pays, on a regardé comme légitimement récusable le juge qui, d'avance, avait manifesté son opinion sur l'innocence ou sur la culpabilité d'un accusé. En effet, on ne peut pas attendre une bonne justice des hommes qui, forcés de renoncer à une opinion énoncée publiquement, encourraient, au moins, le reproche de légèreté; or, disait Condorcet, dans une déclaration solennelle adressée à la nation suisse, la Convention s'est déjà prononcée sur la culpabilité du roi. Condorcet demandait, au reste, que, dans le cas de la condamnation, on se réservât le droit d'atténuer la peine : « Pardonner au roi, disait-il, « peut devenir un acte de prudence; en conserver la possi- « bilité sera un acte de sagesse. »

C'est dans le même discours que je lis ces paroles, dont la beauté dut être rehaussée par les circonstances solennelles où se trouvait l'orateur :

« Je crois la peine de mort injuste..... la suppression de la « peine de mort sera un des moyens les plus efficaces de « perfectionner l'espèce humaine, en détruisant le penchant « à la férocité qui l'a longtemps déshonorée... Des peines qui « permettent la correction et le repentir, sont les seules qui « puissent convenir à l'espèce humaine régénérée. »

La Convention, dédaignant tous les scrupules que Condorcet avait soulevés, se constitua tribunal souverain pour le jugement de Louis XVI. Notre confrère ne se récusa point!

Était-ce là, cependant, je me le demande, un de ces cas où, dans les corps politiques, les minorités doivent se courber aveuglément sous le joug des majorités? La plus criminelle des usurpations est, sans contredit, celle du pouvoir judiciaire; elle blesse à la fois l'intelligence et le cœur; sur un

pareil sujet, le témoignage de sa propre conscience peut-il être mis en balance avec le résultat matériel d'un scrutin?

Ne portons pas, toutefois, notre sévérité à l'extrême : songeons qu'en pleine mer, au milieu de la tourmente, le plus intrépide matelot est quelquefois saisi de vertiges que le citadin timide, assis sur le rivage, n'a jamais éprouvés. Il eût été certainement plus *romain* de refuser les fonctions de juge; il était plus *humain*, dans les idées de Condorcet, de les accepter.

Condorcet refusa de voter la peine de mort.—Toute autre peine lui semblait pouvoir être appliquée. Il se prononça pour l'appel au peuple.

Discussion sur la constitution de l'an II. — Condorcet hors la loi; sa retraite chez madame Vernet; son Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain; fuite de Condorcet; sa mort.

De tous les actes auxquels Condorcet prit part durant sa carrière politique, aucun n'exerça sur sa destinée une plus fatale influence que le projet de constitution de l'an II.

Au milieu des efforts incomparables que faisait la Convention pour repousser les armées ennemies, pour étouffer la guerre civile, créer des ressources financières, remplir nos arsenaux, elle ne négligeait pas entièrement l'organisation politique du pays. Une commission, composée de neuf de ses membres, reçut le mandat de préparer une nouvelle constitution. Condorcet en faisait partie. Après plusieurs mois du travail le plus assidu et de discussions très-appro-

fondies, cette commission présenta son projet les 15 et 16 février 1793.

Le nouveau plan de constitution ne renfermait pas moins de 13 titres, subdivisés en un grand nombre d'articles. Une introduction de 115 pages, rédigée par Condorcet, exposait en détail les motifs qui avaient décidé la commission. La Convention accorda au projet de notre ancien confrère la priorité sur tous ceux qui lui étaient arrivés par d'autres voies, et décida qu'elle passerait sans retard à la discussion publique. De violents débats excités chaque jour par des haines personnelles, les fureurs des partis, les difficultés inouïes des circonstances, les usurpations incessantes de la commune de Paris absorbaient presque tout le temps des séances. Condorcet, étranger à ce qui, de son point de vue, n'allait pas directement au triomphe, à la gloire, au bonheur de la France, gémissait de voir la constitution sans cesse ajournée. Dans son impatience, il demanda la fixation d'un délai à l'expiration duquel une nouvelle Convention serait convoquée. A Paris, la proposition passa presque inaperçue; les départements, au contraire, l'accueillirent avec faveur. Elle y porta, elle y fit naître des idées qui devinrent une puissance dont il eût été impolitique de ne pas tenir compte. Aussi, après les événements du 31 mai et du 2 juin, le parti conventionnel qui venait de triompher, jugea-t-il opportun de déférer sans retard au vœu de la population; de doter le pays de la constitution depuis si longtemps promise; mais il refusa de reprendre le plan de Condorcet. Cinq commissaires désignés par le comité de salut public, en tête desquels était Hérault de Séchelles, firent un plan nouveau. Le comité l'amenda et l'accepta en une seule séance. La Convention ne

se montra guère moins expéditive. La constitution, présentée le 10 juin 1793, fut décrétée le 24. Les cris d'allégresse des habitants de Paris et le bruit du canon fêtèrent ce grand événement.

La constitution, aux termes du décret, devait être sanctionnée ou rejetée par les assemblées primaires, dans le court délai de trois jours à partir de celui de la notification.

C'est ici que se place un acte de Condorcet dont on n'appréciera la hardiesse qu'en reportant ses pensées sur la terrible période de nos annales qui suivit le 31 mai.

Sieyès, dans son intimité, appelait l'œuvre d'Hérault de Séchelles une mauvaise table de matières. Ce que Sieyès disait en secret, Condorcet osa l'écrire à ses commettants. Il fit plus : dans une lettre rendue publique, le savant célèbre proposa ouvertement au peuple de ne pas sanctionner la nouvelle constitution. Ses motifs étaient nombreux et nettement exprimés :

« L'intégrité de la représentation nationale, disait Condorcet, venait d'être détruite par l'arrestation de vingt-sept « membres girondins. La discussion n'avait pas pu s'établir « librement. Une censure inquisitoriale, le pillage des imprimeries, la violation du secret des lettres, devaient être « considérés comme ayant présenté des obstacles insurmontables à la manifestation du sentiment populaire. La nouvelle constitution, ajoutait Condorcet, ne parlant pas de « l'indemnité des députés, donne à penser qu'on désire toujours composer la représentation nationale de riches, ou « de ceux qui ont d'heureuses dispositions pour le devenir. « Les élections trop morcelées sont une prime à l'intrigue et « à la médiocrité. C'est calomnier le peuple que de le croire

« incapable de faire de bonnes élections immédiates. Com-
« poser le pouvoir exécutif de vingt-quatre personnes, c'est
« vouloir jeter toutes les affaires dans une incurable stagna-
« tion. Une constitution qui ne donne pas de garanties à
« la liberté civile est radicalement défectueuse. Il y a dans
« quelques dispositions un premier pas vers le fédéralisme,
« vers la rupture de l'unité française. Le plus grand défaut,
« cependant, c'est qu'on a rendu les moyens de réforme il-
« lusoires. »

Une critique si vive, si détaillée, si juste, surtout, ne pouvait être bien accueillie des auteurs du projet. Voici, cependant, ce qui les irrita davantage, car l'amour-propre est toujours le côté faible de notre espèce, même chez ceux qui s'appellent des hommes d'État :

« Tout ce qui est bon dans le second projet, disait Con-
« dorcet, est copié du premier. On n'a fait que pervertir et
« corrompre ce qu'on a voulu corriger. »

Chabot dénonça la lettre de Condorcet à la Convention, dans la séance du 8 juillet 1793. L'ex-capucin appelait la nouvelle constitution d'Hérault de Séchelles une *œuvre sublime*. Suivant lui (je rapporte les propos, quoique dans cette enceinte on ne doive pas les trouver polis); suivant Chabot. il fallait être *académicien* pour ne pas l'accueillir avec enthousiasme. La critique lui semblait une action *infâme*, que des *scélérats* pouvaient seuls se permettre. Après toutes ces aménités, Chabot ajoutait ingénument : « Condorcet prétend
« que sa constitution est meilleure que la vôtre; que les as-
« semblées primaires doivent l'accepter : je propose *donc*
« qu'il soit mis en état d'arrestation et traduit à la barre. »

L'assemblée décréta, sans autre information, que l'illustre

député de l'Aisne serait arrêté, et qu'on apposerait les scellés sur ses papiers.

Condorcet, quoiqu'on le considérât généralement, mais à tort, comme girondin, ne figurait pas au nombre des vingt-deux députés dont le 31 mai amena l'arrestation. Le 3 octobre 1793, son nom se trouva cependant avec ceux de Brissot, de Vergniaud, de Gensonné, de Valazé, dans la liste des conventionnels traduits devant le tribunal révolutionnaire, accusés de conspiration contre l'*unité* de la république, et condamnés à mort.

Condorcet, contumace, fut mis hors la loi, et inscrit sur la liste des émigrés. On confisqua ses biens.

L'honneur s'était réfugié dans les camps! C'est ainsi que des historiens prétendent caractériser les terribles années 1793 et 1794 de notre révolution. On ne parvient à apprécier en si peu de mots de grandes époques historiques qu'aux dépens de la vérité.

Oui, les armées de la république montrèrent un dévouement, une patience, un courage admirables; oui, des soldats mal armés, mal vêtus, nu-pieds, étrangers aux plus simples évolutions militaires, sachant à peine se servir de leurs fusils, battirent à force de patriotisme les meilleures troupes de l'Europe et en poursuivirent les débris au delà de nos frontières; oui, du sein de ce peuple auquel l'orgueil, la morgue nobilière, les préjugés de nos ancêtres faisaient une si mesquine part d'intelligence, surgirent, comme par enchantement, d'immortels capitaines; oui, quand le salut ou l'honneur du pays l'exigea, le fils de l'humble gardien d'un chenil devint le chef illustre d'une de nos armées, vainquit

le maréchal Wurmser et pacifia la Vendée ; oui, le fils d'un simple cabaretier, se précipitant comme une avalanche des hauteurs de l'Albis, dispersa sous les murs de Zurich les Russes de Korsakoff, à l'instant même où ils croyaient marcher avec certitude à la conquête de la France ; oui, le fils d'un terrassier et quelques milliers de soldats donnèrent, à Héliopolis, de telles preuves d'habileté, de bravoure, qu'il ne serait plus permis aujourd'hui de citer la phalange macédonienne et les légions de César comme les plus vaillantes troupes qui aient foulé le sol égyptien.

Conservons religieusement ces souvenirs. Nos hommages, quelque vifs qu'ils puissent être, pâliront à côté des hauts faits de ces immortelles armées républicaines qui sauvèrent la nationalité française. Soyons justes, cependant, et que notre enthousiasme pour d'étonnants soldats ne nous empèche pas de payer un juste tribut à tant de citoyens de l'ordre civil qui, eux aussi, rendirent d'éminents, de périlleux, d'honorables services à la patrie.

Pendant que les armées françaises combattaient courageusement aux frontières, n'était-ce pas à l'intérieur qu'à travers d'incroyables difficultés, on créait, on improvisait, par des méthodes entièrement nouvelles, les armes, les munitions indispensables ; n'était-ce pas à l'intérieur que se préparaient les plans de campagne ; que le télégraphe naissait à point nommé, pour donner aux ordres venant de la capitale un ensemble, une rapidité inespérés ; n'était-ce pas de l'intérieur que partait jusqu'à ce projet, réalisé à Fleurus, de faire servir les aérostats à nos triomphes ; n'était-ce pas à l'intérieur, enfin, que jaillissait la pensée de tant de brillantes institutions, gloire du pays et base de notre administration ; créations

immortelles dont tous les gouvernements se sont crus obligés de copier les noms, quand, faute d'éléments, il leur a été impossible de reproduire les institutions elles-mêmes?

Je déplore, je maudis autant que personne au monde, les actes sanguinaires qui souillèrent les années 1793 et 1794; mais je ne saurais me résoudre à n'envisager notre glorieuse révolution que sous ce douloureux aspect. Je trouve, au contraire, beaucoup à admirer, même au milieu des scènes les plus cruelles qui en ont marqué les diverses phases. Citerait-on, par exemple, aucune nation ancienne ou moderne, chez laquelle des victimes des deux sexes et de tous les partis aient fait preuve, au pied de l'échafaud, d'autant de résignation, de force de caractère, de détachement de la vie qu'en ont montré nos malheureux compatriotes? Il ne faut pas non plus oublier l'empressement intrépide que mirent tant d'honorables citoyens à secourir, à sauver, à quêter même des proscrits. Cette dernière réflexion me ramène à Condorcet et à la femme admirable qui le cacha pendant plus de neuf mois.

On pouvait supposer que Condorcet n'avait pas exactement mesuré toute la gravité, toute la portée de l'écrit qu'il publia après l'adoption de la constitution de l'an II. Le doute, maintenant, ne serait plus permis. Ce qui s'était offert à l'esprit du député de l'Aisne comme un devoir, il l'accomplit en présence du plus imminent danger. J'en ai découvert une preuve irrécusable : la publication de l'*Adresse aux citoyens français sur la nouvelle constitution* coïncida avec les démarches qui assurèrent une retraite à l'auteur.

Dans l'atmosphère politique, aussi bien que dans l'at-

mosphère terrestre, il y a des signes avant-coureurs des orages, que les personnes exercées saisissent du premier coup d'œil, malgré ce qu'ils offrent d'indécis.

Condorcet, son beau-frère Cabanis, leur ami commun Vic-d'Azir, ne pouvaient s'y tromper. Après sa manifestation publique au sujet de la constitution de l'an II, la mise en accusation de l'ancien secrétaire de l'Académie des sciences était inévitable; la foudre allait éclater sur sa tête; il fallait sans retard chercher un abri.

Deux élèves de Cabanis et de Vic-d'Azir, qui, depuis, ont été l'un et l'autre des membres distingués de cette Académie, MM. Pinel et Boyer, songèrent au numéro 21 de la rue Servandoni, où ils avaient demeuré.

Cette maison, d'environ 2,500 francs de revenu, ordinairement occupée par des étudiants, appartenait à la veuve de Louis-François Vernet, sculpteur, et proche parent des grands peintres. Madame Vernet, comme son mari, était née en Provence. Elle avait le cœur chaud, l'imagination vive, le caractère franc et ouvert; sa bienfaisance touchait à l'exaltation. Ces qualités excluent les détours et les longues négociations. Madame, lui dirent MM. Boyer et Pinel, nous voudrions sauver un proscrit. — Est-il honnête homme, est-il vertueux ? — Oui, madame. — En ce cas, qu'il vienne! — Nous allons vous confier son nom. — Vous me l'apprendrez plus tard; ne perdez pas une minute : pendant que nous discourons, votre ami peut être arrêté!

Le soir même, Condorcet confiait sans hésiter sa vie à une femme dont, peu d'heures auparavant, il ignorait même l'existence.

Condorcet n'était pas le premier proscrit que recevait le

n° 21; un autre l'y avait précédé. Madame Vernet ne consentit jamais, au sujet de cet inconnu, à satisfaire la bien légitime curiosité de la famille de notre confrère. Même en 1830, après un laps de temps de trente-sept années, ses réponses aux questions pressantes de madame O'Connor ne dépassaient pas de vagues généralités. Le proscrit, disait-elle, était grand ennemi de la révolution; il manquait de fermeté, s'effrayait des moindres bruits de la rue, et ne quitta sa retraite qu'après le 9 thermidor. L'excellente femme ajoutait, avec un sourire empreint de quelque tristesse : Depuis cette époque, je ne l'ai pas revu ; comment voulez-vous que je me rappelle son nom?

A peine entré, au commencement de juillet 1793, dans sa cellule de la rue Servandoni, notre ancien confrère y éprouva des tortures morales cruelles. Ses revenus avaient été saisis; il ne pouvait pas disposer d'une obole. Lui, personnellement, n'avait aucun besoin, car madame Vernet pourvoyait à tout; car, pour cette femme incomparable, secourir un malheureux était si bien s'acquitter d'une dette, que la famille de l'illustre secrétaire, revenue à une grande aisance, échoua dans ses projets persévérants, et sans cesse renouvelés, de lui faire accepter quelque cadeau.

Mais, se disait, dans sa préoccupation, le célèbre académicien : Où vivra celle qui a le malheur aujourd'hui de porter mon nom? Toute femme noble, et, à plus forte raison, toute femme de proscrit, est exclue de la capitale. Laissez faire l'épouse dévouée : elle entrera chaque matin à Paris, à la suite des pourvoyeuses des halles. COMMENT vivra-t-elle? se demandait encore notre confrère, dans son inquiète sollicitude. Il semble, en effet, impossible qu'une

dame du grand monde, habituée à être servie et non à servir les autres, conquière à force de travail, de suffisantes ressources pour elle, sa jeune fille, sa sœur maladive et une vieille gouvernante. Ce qui paraissait impossible, ne tardera pas à se réaliser. Le besoin de se procurer l'image des traits de ses parents, de ses amis, n'est jamais plus vif qu'en temps de révolution. Madame de Condorcet passera ses journées à faire des portraits : tantôt dans les prisons (c'étaient les plus pressés); tantôt dans les silencieuses retraites que des âmes charitables procuraient à des condamnés; tantôt, enfin, dans les salons brillants ou dans les modestes habitations des citoyens de toutes les classes qui se croyaient menacés d'un danger prochain. L'habileté de madame Condorcet rendra beaucoup moins vexatoires, beaucoup moins périlleuses, les perquisitions souvent renouvelées que des détachements de l'armée révolutionnaire iront opérer dans sa demeure d'Auteuil. Sur la demande des soldats, elle reproduira leurs traits avec le crayon ou le pinceau; elle exercera sur eux la fascination du talent, et s'en fera presque des protecteurs. Dès que la peinture commencera à ne plus être lucrative, madame Condorcet, exempte de préjugés, n'hésitera pas à créer un magasin de lingerie dont les bénéfices seront exclusivement consacrés à d'anciens serviteurs. C'est là que, pour la première fois, depuis la révolution de 89, nous rencontrerons le nom du chef de notre secrétariat, de l'excellent M. Cardot. Plus tard, madame Condorcet sera l'habile traducteur de l'ouvrage d'Adam Smith sur les sentiments moraux, et publiera elle-même des lettres sur la sympathie, également dignes d'estime par la finesse des aperçus et par l'élégance du style.

Les premiers pas, les premiers succès de madame Condorcet dans la carrière d'abnégation personnelle, de sacrifices de tous les instants, de dévouement courageux dont je viens de tracer l'esquisse, devinrent un baume réparateur pour l'âme à demi anéantie du malheureux proscrit. Lui aussi, dès ce moment, se sentit capable d'un travail persévérant et sérieux. La force, la lucidité de son esprit ne furent pas moins entières, dans la cellule sur laquelle veillait l'humanité héroïque de madame Vernet, qu'elles ne l'étaient vingt années auparavant, au secrétariat de l'Académie des sciences.

Le premier écrit composé par Condorcet dans sa retraite de la rue Servandoni, n'a jamais été imprimé. J'en rapporterai les premières lignes : « Comme j'ignore, disait l'illustre « philosophe, si je survivrai à la crise actuelle, je crois devoir « à ma femme, à ma fille, à mes amis, qui pourraient être « victimes des calomnies répandues contre ma mémoire, un « exposé simple de mes principes et de ma conduite pendant « la révolution. »

Cabanis et Garat se trompaient, en affirmant dans l'avant-propos de l'Esquisse sur les progrès de l'esprit humain, que leur ami avait tracé seulement quelques lignes de cet exposé. Le manuscrit se compose de quarante et une pages très-serrées, il embrasse la presque totalité de la carrière publique de Condorcet. Secrétaire de l'Académie des sciences morales et politiques, je transcrirais peut-être ici en totalité un écrit où la candeur, la bonne foi, la sincérité de notre confrère brillent du plus vif éclat. La spécialité de l'Académie des sciences m'interdit de pareils détails. Néanmoins, comme il est de devoir rigoureux, non-seulement pour toutes les

académies, mais encore pour tous les citoyens, de purifier l'histoire nationale, notre patrimoine commun, des flétrissures calomnieuses que l'esprit de parti lui a trop souvent imprimées, je rapporterai le jugement de Condorcet sur les massacres de septembre :

« Les massacres du 2 septembre, dit-il, une des souillures « de notre révolution, ont été l'ouvrage de la folie, de la fé- « rocité de quelques hommes, et non celui du peuple, qui, « ne se croyant pas la force de les empêcher, en détourna « les yeux. Le petit nombre de factieux auxquels ces déplo- « rables événements doivent être imputés eut l'art de para- « lyser la puissance publique, de tromper les citoyens et « l'Assemblée nationale. On leur résista faiblement et sans « direction, parce que le véritable état des choses ne fut pas « connu. »

N'êtes-vous pas heureux, Messieurs, de voir le peuple, le véritable peuple de Paris, déchargé de toute solidarité dans la plus odieuse boucherie, par un homme dont les lumières, le patriotisme et la haute position sont une triple garantie de véracité? Désormais, il ne sera plus permis de considérer comme l'expression d'une opinion individuelle, d'un sentiment isolé, cette apostrophe d'un ouvrier aux sbires de la commune, que j'ai recueillie dans les mémoires du temps :

« Vous prétendez massacrer des ennemis! Moi, je n'appelle jamais ainsi des hommes désarmés. Conduisez au Champ de Mars ceux de ces malheureux qui, dites-vous, se réjouissaient des défaites de la république; nous les combattrons en nombre égal, à armes égales, et leur mort n'aura rien alors qui puisse nous faire rougir. »

Condorcet supporta avec une grande résignation sa réclusion cellulaire, jusqu'au jour où il apprit la mort tragique des conventionnels girondins qui avaient été condamnés le même jour que lui. Cette sanglante catastrophe concentra toutes ses idées sur les dangers que courait madame Vernet. Il eut alors avec son héroïque gardienne, un entretien que, sous peine de sacrilége, je dois reproduire sans y changer un seul mot :

« Vos bontés, Madame, sont gravées dans mon cœur en traits « ineffaçables. Plus j'admire votre courage, plus mon devoir « d'honnête homme m'impose de ne point en abuser. *La loi est « positive : si on me découvrait dans votre demeure, vous au- « riez la même triste fin que moi ; je suis hors la loi, je ne puis « plus rester.* »

« *La Convention*, Monsieur, *a le droit de mettre hors la loi : « elle n'a pas le pouvoir de mettre hors de l'humanité;* vous « RESTEREZ ! » Cette admirable réponse fut immédiatement suivie, au n° 21 de la rue Servandoni, de l'organisation d'un système de surveillance, dans lequel la plupart des habitants de la maison, et particulièrement l'humble portière, avaient un rôle. Madame Vernet savait imprégner de sa vertu tous ceux qui l'entouraient. A partir de ce jour, Condorcet ne faisait pas un mouvement sans être observé.

Ici vient se placer un incident qui montrera la haute intelligence de madame Vernet, sa profonde connaissance du cœur humain.

Un jour, en montant l'escalier de la chambre qu'il occupait, Condorcet fit la rencontre du citoyen Marcos, député suppléant à la Convention pour le département du Mont-Blanc. Marcos appartenait à la section des monta-

gnards; il logeait depuis quelques jours chez madame Vernet. Sous son déguisement, Condorcet n'avait pas été reconnu; mais était-il possible de compter longtemps sur le même bonheur? L'illustre proscrit fait part de ses inquiétudes à son hôte dévoué. Attendez, dit-elle aussitôt, je vais arranger cette affaire. Elle monte chez Marcos, et, sans aucun préambule, lui adresse ces paroles : « Citoyen, Condorcet demeure sous le même toit que vous; si on l'arrête, ce sera vous qui l'aurez dénoncé; s'il périt, ce sera vous qui aurez fait tomber sa tête. Vous êtes un honnête homme, je n'ai pas besoin de vous en dire davantage. » Cette noble confiance ne fut pas trahie.

Cependant, une distraction, un accident fortuit, pouvaient tout perdre. Madame Vernet comprit que ses efforts finiraient par être vains, si on n'occupait pas fortement la tête du prisonnier.

Par son intermédiaire, madame de Condorcet et les amis de son mari le supplièrent de se livrer à quelque grande composition. Condorcet se rendit à ces conseils, et commença son *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain.*

Pendant que, sous l'égide tutélaire de madame Vernet, Condorcet enveloppait dans ses regards scrutateurs l'état passé et l'état futur des sociétés humaines, il réussit à détourner complétement ses pensées des convulsions terribles au milieu desquelles la France se débattait. Le *Tableau des progrès de l'esprit humain* n'offre pas, en effet, une seule ligne où l'acrimonie du proscrit ait pris la place de la raison froide du philosophe, et des nobles sentiments du promoteur de la civilisation. « Tout nous dit que nous

« touchons à l'époque d'une des grandes révolutions de « l'espèce humaine... l'état actuel des lumières nous garan- « tit qu'elle sera heureuse. » Ainsi s'exprimait Condorcet, lorsque déjà il n'espérait plus échapper aux poursuites actives de ses implacables persécuteurs; lorsque le glaive de mort n'aurait attendu, pour frapper, que le temps de constater l'identité de la victime.

Ce fut au milieu de mars 1794 que Condorcet écrivit les dernières lignes de son essai. Pousser cet ouvrage plus loin, sans le secours d'aucun livre, n'était pas au pouvoir d'une tête humaine.

Cet ouvrage ne vit le jour qu'en 1795, après la mort de l'auteur. Le public le reçut avec des applaudissements universels. Deux traductions, l'une anglaise, l'autre allemande, rendirent l'*Esquisse* très-populaire chez nos voisins. La Convention en acquit trois mille exemplaires, qui furent répandus, par les soins du comité d'instruction publique, sur toute l'étendue du territoire de la République.

Dans le manuscrit autographe, l'ouvrage est intitulé, non *Esquisse*, mais PROGRAMME *d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*. Condorcet y indique son but en ces termes :

« ..... Je me bornerai à choisir les traits généraux qui ca- « ractérisent les diverses phases par lesquelles l'espèce hu- « maine a dû passer, qui attestent tantôt ses progrès, tantôt « sa décadence, qui dévoilent les causes, qui en montrent les « effets..... Ce n'est point la science de l'homme, prise en gé- « néral, que j'ai entrepris de traiter : j'ai voulu montrer seu- « lement comment, à force de temps et d'efforts, il avait pu « enrichir son esprit de vérités nouvelles, perfectionner son

« intelligence, étendre ses facultés, apprendre à les mieux « employer, et pour son bien-être et pour la félicité com- « mune. »

L'ouvrage de Condorcet est trop connu pour que je puisse penser à en tracer l'analyse. Comment, d'ailleurs, analyser un *Programme?* Je signalerai seulement aux esprits sans préjugés le chapitre curieux où, saisissant du regard les *progrès futurs de l'esprit humain,* l'auteur arrive à reconnaître la nécessité, la justice (ce sont ses expressions) d'établir une entière égalité de droits civils et politiques entre les individus des deux sexes, et proclame en outre la *perfectibilité indéfinie* de l'espèce humaine.

Cette idée philosophique fut combattue, au commencement de ce siècle, avec une extrême violence par les littérateurs à la mode. Suivant eux, le système de la perfectibilité indéfinie ne manquait pas seulement de vérité; il devait avoir de désastreuses conséquences. Le *Journal des Débats* le présentait « comme devant favoriser beau- « coup les projets des factieux. » Dans la critique acerbe qu'il en faisait dans le *Mercure*, à l'occasion d'un ouvrage de madame de Staël, Fontanes, caressant les passions de Napoléon, allait jusqu'à soutenir que le *rêve* de la perfectibilité menaçait les empires des plus terribles fléaux. Enfin, on croyait amoindrir, suivant les idées du jour, les droits de ce système philosophique à tout examen sérieux, en présentant Voltaire comme son premier, comme son véritable inventeur!

Sur ce dernier point la réponse était très-facile. L'idée de perfectibilité indéfinie se trouve, en effet, dans Bacon, dans

Pascal, dans Descartes. Nulle part, cependant, elle n'est exprimée en termes plus clairs que dans ce passage de Bossuet :

« Après six mille ans d'observations, l'esprit humain n'est « pas épuisé; il cherche, et il trouve encore, afin qu'il con« naisse qu'il peut trouver jusqu'à l'infini, et que la seule pa« resse peut donner des bornes à ses connaissances et à ses « inventions. »

Le mérite de Condorcet sur cet objet spécial se borne donc à avoir étudié, à l'aide des données que lui fournissaient les sciences modernes et par des rapprochements ingénieux, l'hypothèse d'une perfectibilité indéfinie, relativement à la durée de la vie de l'homme et à ses facultés intellectuelles. Mais c'est lui, je crois, qui, le premier, a étendu le système jusqu'à faire espérer le perfectionnement indéfini des facultés morales. Ainsi, je lis, dans l'ouvrage, « qu'un jour viendra où nos « intérêts et nos passions n'auront pas plus d'influence sur « les jugements qui dirigent la volonté, que nous ne les voyons « en avoir aujourd'hui sur nos opinions scientifiques. » Ici, sans me séparer entièrement de l'auteur, j'ose affirmer qu'il vient de faire une prédiction à bien long terme.

Le *Programme* que nous connaissons devait être originairement suivi du *Tableau complet* des progrès de l'esprit humain. Ce tableau, composé principalement de faits, de documents historiques et de dates, n'a pas été achevé. Les éditeurs de 1804 en ont publié quelques fragments. D'autres existent dans les papiers de M. et madame O'Connor. Espérons que la piété filiale se hâtera d'en faire jouir le public. J'ose assurer qu'ils confirmeront ce jugement que portait Daunou sur l'ensemble de l'Esquisse : « Je n'ai connu aucun

« érudit, ni parmi les nationaux, ni parmi les étrangers, qui,
« privé de livres comme l'était Condorcet, qui, n'ayant d'au-
« tre guide que sa mémoire, eût été capable de composer un
« pareil ouvrage. »

Dès que l'état fébrile d'auteur eut cessé, notre confrère reporta de nouveau toutes ses pensées sur le danger que sa présence, rue Servandoni, faisait courir à madame Vernet. Il résolut donc, j'emploie ici ses propres expressions, il résolut de quitter le réduit que le dévouement sans bornes de son ange tutélaire avait transformé en *paradis.*

Condorcet s'abusait si peu sur la conséquence probable du projet qu'il avait conçu ; les chances de salut, après son évasion, lui paraissaient tellement faibles, qu'avant de se dérober aux bienfaits de madame Vernet, il rédigea ses dernières dispositions.

Cet écrit, Messieurs, je l'ai tenu dans mes mains, et j'y ai trouvé partout les vifs reflets d'un esprit élevé, d'un cœur sensible et d'une belle âme. J'oserai dire, en vérité, qu'il n'existe dans aucune langue rien de mieux pensé, de plus attendrissant, de plus suave dans la forme, que les passages du testament de notre confrère intitulés : *Avis d'un proscrit à sa fille.* Je regrette que le temps ne me permette pas d'en citer quelques fragments.

Ces lignes si limpides, si pleines de finesse et de naturel, furent écrites par Condorcet le jour même où il allait volontairement s'exposer à un immense danger. Le pressentiment d'une fin violente, presque inévitable, ne le troublait pas ; sa main traçait ces terribles expressions : *Ma mort, ma mort prochaine!* avec une fermeté que les stoïciens de l'antiquité eussent enviée. La sensibilité dominait, au contraire, la force

d'âme, quand l'illustre proscrit croyait entrevoir que madame de Condorcet pourrait aussi être entraînée dans la sanglante catastrophe qui le menaçait. Alors, il n'abordait plus les réalités de front; on dirait qu'il cherchait à voiler à ses propres yeux les horreurs de la situation par des artifices de style.

« Si ma fille était destinée *à tout perdre*, » voilà ce que l'époux insérera de plus explicite dans son dernier écrit. Cependant, comme si cet effort l'avait épuisé, il songe aussitôt à l'appui que son enfant de cinq ans, que sa chère Éliza, pourra trouver auprès de sa bienfaitrice; il prévoit, il règle tout; aucun détail ne lui semble indifférent. Éliza appellera madame Vernet sa seconde mère; elle apprendra, sous la direction de cette excellente amie, outre les ouvrages de femme, le dessin, la peinture, la gravure, et cela assez complétement pour gagner sa vie sans trop de peine et de dégoût. En cas de nécessité, Éliza trouverait de l'appui en Angleterre chez milord Stanhope et chez milord Dear; en Amérique, chez Bache, petit-fils de Franklin, et chez Jefferson. Elle devra donc se familiariser avec la langue anglaise; c'était, d'ailleurs, le vœu de sa mère, et cela dit tout. Quand le temps sera venu, madame Vernet fera lire à mademoiselle Condorcet les instructions de ses parents, sur le manuscrit (cette circonstance est particulièrement indiquée), *sur le manuscrit original.* On éloignera d'Éliza tout sentiment de vengeance; on lui apprendra à se défier de sa sensibilité filiale; c'est au nom de son père que ce sacrifice sera réclamé.

Le testament se termine par ces lignes : « Je ne dis rien « de mes sentiments pour la généreuse amie (madame Ver-

« net) à qui cet écrit est destiné; en interrogeant son cœur, « en se mettant à ma place, elle les connaîtra tous. »

Voilà ce que Condorcet écrivait dans la matinée du 5 avril 1794. A dix heures, il quitta sa cellule, en veste et en gros bonnet de laine, son déguisement habituel, descendit dans une petite pièce du rez-de-chaussée, et lia conversation avec un locataire (1) de madame Vernet qui habitait aussi la maison. Notre confrère avait vainement choisi un sujet dépourvu d'intérêt et dont les développements semblaient devoir être très-longs; vainement il mêlait à son discours force termes latins; madame Vernet restait là de pied ferme. Le proscrit désespérait déjà de pouvoir se dérober à la surveillance dont il était l'objet, lorsque, par hasard ou par calcul, il se montra contrarié d'avoir oublié sa tabatière. Madame Vernet, toujours bonne, toujours empressée, se leva et monta l'escalier pour aller la chercher. Condorcet saisit ce moment et s'élança dans la rue. Les cris déchirants de la portière avertirent aussitôt madame Vernet qu'elle venait de perdre le fruit de neuf mois d'un dévouement sans exemple. La pauvre femme tomba évanouie.

Tout entier au besoin d'éviter une poursuite qui aurait perdu sa bienfaitrice, Condorcet parcourut la rue Servandoni avec beaucoup de vitesse. En s'arrêtant pour prendre haleine, au détour de la rue de Vaugirard, il vit à ses côtés

---

(1) Ce locataire, nommé Sarret, est auteur de plusieurs ouvrages d'instruction élémentaire. Il avait épousé madame Vernet, mais le mariage était resté secret, la femme n'ayant pas voulu renoncer à son premier nom.

M. Sarret, le cousin de madame Vernet. L'illustre proscrit avait à peine eu le temps de laisser échapper quelques paroles où l'admiration se mêlait à la sensibilité, à la reconnaissance, que M. Sarret lui disait avec cette fermeté qui n'admet point de réplique : « Le costume que vous portez ne vous déguise pas suffisamment ; vous connaissez à peine votre chemin ; seul, vous ne réussiriez jamais à tromper l'active surveillance des argus que la Commune entretient à toutes les portes de Paris. Je suis donc décidé à ne vous point quitter. »

C'était à dix heures du matin, en plein soleil, dans une rue très-fréquentée, à la porte même de ces terribles prisons du Luxembourg et des Carmes d'où on ne sortait guère que pour aller à l'échafaud ; c'était devant de lugubres affiches portant, en gros caractères, que la peine de mort serait infligée à quiconque prêterait assistance à des proscrits, que M. Sarret s'attachait aux pas du proscrit. Ne trouvez-vous point qu'une pareille intrépidité va de pair, tout au moins, avec celle qui précipite des soldats sur l'artillerie tonnante d'une redoute ?

Le petit nombre d'heures qui doit nous conduire à un dénoûment funeste, éveillera peut-être de bien pénibles sentiments ; aussi, tout en respectant les droits imprescriptibles de l'histoire, serai-je bref.

Les deux fugitifs échappèrent par une sorte de miracle aux dangers qui les attendaient à la barrière du Maine, et se dirigèrent vers Fontenay-aux-Roses. Le voyage fut long : après neuf mois d'un repos absolu, notre confrère ne savait plus marcher. Enfin, sur les deux heures de l'après-midi, Condorcet et son compagnon arrivèrent sans fâcheuse rencontre, mais exténués de fatigue, à la porte d'une maison de

campagne occupée par un heureux ménage, qui, depuis près de vingt années, avait reçu de Condorcet d'éclatants services et des marques sans nombre d'attachement. Là finissait la périlleuse mission que M. Sarret s'était donnée; il se retira et reprit la route de Paris.

Que se passa-t-il ensuite? Les relations ne sont point concordantes. D'après leur ensemble, je vois que Condorcet sollicita l'hospitalité seulement pour un jour; que des difficultés, dont je ne me fais pas juge, empêchèrent M. et Mme Suard d'accueillir sa prière; que, néanmoins, on convint qu'une petite porte de jardin donnant sur la campagne, et s'ouvrant en dehors, ne serait pas fermée la nuit; que Condorcet pourrait s'y présenter, à partir de dix heures; qu'enfin, au moment de congédier le malheureux proscrit, ses amis lui remirent les Épîtres d'Horace, triste ressource, en vérité, pour qui allait être obligé de chercher un refuge dans la profonde obscurité des carrières de Clamart.

Les anciens amis de Condorcet commirent, sans doute, la faute irréparable de ne pas présider eux-mêmes aux arrangements convenus. Un ou deux jours après, madame Vernet, parcourant en tout sens la campagne de Fontenay-aux-Roses, avec la pensée que sa présence pourrait y être utile, remarqua une motte de terre et une haute touffe de gazon, qui, adossées à la petite porte, prouvaient, hélas! avec trop d'évidence, que depuis bien longtemps elle n'avait tourné sur ses gonds. Pendant ces nuits néfastes, il n'y eut de portes ouvertes que dans la rue Servandoni. Là, au n° 21, pendant toute une semaine, porte cochère, porte de boutique, porte d'allée auraient cédé à la plus légère pression du doigt du fugitif. Dans la prévision, je ne dis pas assez, dans l'espé-

rance d'un retour nocturne, madame Vernet ne songea même pas qu'il y eût dans une immense capitale des voleurs et des assassins.

Bien grande, hélas! fut la différence de conduite des femmes, des deux familles que les relations du monde et le malheur rapprochèrent de Condorcet!

Le 5 avril, à deux heures, nous laissions Condorcet s'éloignant avec résignation, mais non sans tristesse, de la maison de campagne où il avait espéré passer vingt-quatre heures en sûreté. Personne ne saura jamais les angoisses, les souffrances qu'il endura pendant la journée du 6. Le 7, un peu tard, nous voyons notre confrère, blessé à la jambe et poussé par la faim, entrer dans un cabaret de Clamart et demander une omelette. Malheureusement, cet homme presque universel ne sait pas, même à peu près, combien un ouvrier mange d'œufs dans un de ses repas. A la question du cabaretier, il répond une douzaine. Ce nombre inusité excite la surprise; bientôt le soupçon se fait jour, se communique, grandit. Le nouveau venu est sommé d'exhiber ses papiers; il n'en a pas. Pressé de questions, il se dit charpentier; l'état de ses mains le dément. L'autorité municipale avertie le fait arrêter et le dirige sur Bourg-la-Reine. Dans la route un brave vigneron rencontre le prisonnier; il voit sa jambe malade, sa marche pénible, et lui prête généreusement son cheval. Je ne devais pas oublier la dernière marque de sympathie que notre malheureux confrère ait reçue.

Le 8 avril (1794) au matin, quand le geôlier de Bourg-la-Reine ouvrit la porte de son cachot pour remettre aux gendarmes le prisonnier encore inconnu qu'on devait conduire à Paris, il ne trouva plus qu'un cadavre. Notre confrère s'était

dérobé à l'échafaud par une forte dose de poison concentré, qu'il portait depuis quelque temps dans une bague (1).

Bochard de Saron, Lavoisier, la Rochefoucauld, Malesherbes, Bailly, Condorcet, tel fut le lugubre contingent de l'Académie pendant nos sanglantes discordes. Les cendres de ces hommes illustres ont eu des destinées bien diverses. Les unes reposent en paix, justement entourées des regrets universels ; les autres sont soumises périodiquement au souffle empesté et trompeur des passions politiques.

J'espère que les forces ne trahiront pas ma volonté, et que bientôt, à cette même place, je pourrai dire ce que fut Bailly. Aujourd'hui, je n'aurais pas accompli ma tâche dans ce qu'elle a de plus sacré, même après tout ce que vous avez déjà entendu, si je n'écartais avec indignation de la mémoire de Condorcet une imputation calomnieuse. La forme du reproche adressé à notre confrère n'a pas calmé mes inquiétudes ; j'ai très-bien remarqué qu'on n'a parlé que de faiblesse, mais il est des circonstances où la faiblesse devient un crime.

En rendant compte de la déplorable condamnation de Lavoisier, une plume savante, très-respectable et très-respectée, écrivait, il y a quelques années :

« *On se reposait* sur les instances que quelques-uns des « *anciens confrères de Lavoisier* paraissaient à portée de faire « en sa faveur ; mais la terreur glaça tous les cœurs. » Partant de là, un certain public, cruellement frivole, dénombra

---

(1) Ce poison (on ignore sa nature) avait été préparé par Cabanis. Celui avec lequel Napoléon voulut s'empoisonner à Fontainebleau, avait la même origine et datait de la même époque.

sur ses doigts tous les académiciens qui siégèrent à la Convention, et, sans autre examen, le nom de notre ancien secrétaire se trouva fatalement impliqué dans la catastrophe stupidement féroce qui enleva à la France un excellent citoyen, au monde un homme de génie.

Deux dates, deux simples dates, et vous déciderez si s'abstenir de citer des noms propres quand on parle d'événements aussi graves; si rester dans des termes généraux, qui n'incriminant directement personne permettent à la calomnie d'inculper tout le monde, c'est vraiment de la sagesse.

Condorcet, dites-vous, aurait pu intervenir en faveur de Lavoisier. Est-ce au moment de l'arrestation? Voici ma réponse :

Lavoisier fut arrêté dans le mois d'avril 1794.

Condorcet était proscrit et caché chez madame Vernet depuis le commencement de juillet 1793.

Parlez-vous d'une intervention qui aurait pu suivre la sentence du tribunal révolutionnaire? La réponse sera plus écrasante encore :

Lavoisier périt le 8 mai 1794.

Condorcet s'était empoisonné, à Bourg-la-Reine, un mois auparavant, le 8 avril.

Je n'ajouterai pas une syllabe à ces chiffres : ils resteront imprimés en traits ineffaçables sur les fronts des calomniateurs.

Portrait de Condorcet.

J'ai successivement présenté à vos yeux, et dans le jour qui m'a paru le plus vrai, le savant, le littérateur, l'écono-

miste et le membre de deux de nos assemblées politiques. Il me reste à faire le portrait de l'homme du monde, à vous parler de son extérieur, de ses manières.

Un moment, j'ai désespéré de pouvoir remplir cette partie de ma tâche, car je ne connus pas personnellement le secrétaire de l'Académie, car je ne le vis même jamais. Je ne devais pas oublier, en outre, combien les livres sont des guides infidèles; combien les auteurs savent se parer quelquefois, dans ce qu'ils écrivent, d'un caractère peu en harmonie avec leurs actions habituelles; combien il a été donné de démentis à la maxime de Buffon : le style, c'est tout l'homme. Heureusement, des correspondances inédites m'ont transporté, en quelque sorte, au milieu de la famille de Condorcet. Je l'y ai vu entouré de ses proches, de ses amis, de ses confrères, de ses subordonnés, de ses clients. Je suis devenu le témoin, j'ai presque dit le confident de toutes ses actions. Alors je me suis rassuré. Pouvais-je craindre de parler avec confiance des plus secrètes pensées de l'illustre académicien, de sa vie privée, de ses sentiments intimes, lorsque j'avais pour guides et pour garants Turgot, Voltaire, d'Alembert, Lagrange et une femme, mademoiselle de Lespinasse, célèbre par l'étendue, la pénétration et la finesse de son esprit?

Condorcet était d'une haute stature. L'immense volume de sa tête, ses larges épaules, son corps robuste contrastaient avec des jambes restées toujours grêles, à cause, croyait notre confrère, de l'immobilité presque absolue que le costume de jeune fille et les inquiétudes trop vives d'une mère tendre lui avaient imposée pendant ses huit premières années.

Condorcet avait, dans le maintien, de la simplicité, et

même une teinte de gaucherie. Qui ne l'eût vu qu'en passant, aurait dit : Voilà un bon homme, plutôt que, Voilà un homme d'esprit. Sa qualité principale, sa qualité vraiment caractéristique était une *extrême bonté*. Elle se mariait harmonieusement à une figure belle et douce.

Condorcet passait, parmi ses demi-connaissances, pour insensible et froid. C'était une immense erreur. Jamais, peut-être, il ne dit, en face, des paroles affectueuses à aucun de ses parents ou de ses amis ; mais jamais aussi il ne laissa échapper l'occasion de leur donner des preuves d'attachement : il était malheureux de leurs malheurs ; il souffrait de leurs maux, au point que son repos et sa santé en furent plus d'une fois gravement altérés.

D'où provenaient donc les reproches d'insensibilité si souvent adressés à notre confrère? C'est qu'on prenait, je n'hésite pas à le redire, l'apparence pour la réalité; c'est que jamais les mouvements d'une âme aimante ne se peignirent ni dans la figure ni dans la contenance de Condorcet. Il écoutait avec l'air le plus indifférent le récit d'un malheur ; mais après, quand chacun se contentait d'exhaler sa douleur en de vaines paroles, lui s'éclipsait sans mot dire, et portait des secours, des consolations de toute nature à ceux dont les souffrances venaient de lui être révélées.

Vous savez maintenant le véritable sens de ces paroles de d'Alembert : « Condorcet est un *volcan couvert de neige.* » On s'est complétement mépris sur la pensée de l'immortel géomètre, en persistant à voir dans son assimilation pittoresque la *violence* de caractère recouverte du masque de la froideur.

D'Alembert avait vu le volcan en complète action dans

l'année 1771. Le géomètre, le métaphysicien, l'économiste, le philosophe Condorcet, dominé par des peines de cœur, était devenu pour toutes ses connaissances un objet de pitié. Il alla même jusqu'à penser au suicide. Rien de plus curieux que la manière dont il repoussait les palliatifs que Turgot, son confident, lui recommandait: « Faites des vers. c'est un genre de composition auquel vous êtes peu habitué, il captivera votre esprit. — Je n'aime pas les mauvais vers; je ne pourrais souffrir les miens! — Attaquez quelque rude problème de géométrie. — Quand un goût dépravé nous a jetés sur des aliments à saveur forte, tous les autres aliments nous déplaisent; les passions sont une dépravation de l'intelligence; en dehors du sentiment qui m'absorbe, rien au monde ne saurait m'intéresser. » Pour essayer de tous les moyens, comme font les médecins dans les maladies désespérées, Turgot invoquait force exemples empruntés à l'histoire ancienne et moderne, même à la mythologie. Soins superflus; le temps seul pouvait guérir, le temps seul guérit, en effet, la profonde blessure qui rendit notre confrère si malheureux.

Si le public avait grandement tort de refuser à Condorcet la sensibilité, il ne se trompait pas moins en l'accusant de sécheresse. Ici encore on prenait les apparences pour la réalité.

Lisait-on pour la première fois à l'Académie française, ou dans le monde, une de ces productions littéraires qui sont l'honneur et la gloire du dix-huitième siècle, Condorcet restait complétement impassible au milieu des bruyants transports d'admiration et d'attendrissement qui retentissaient autour de l'auteur. Il paraissait n'avoir pas écouté; mais,

pour peu que les circonstances l'y amenassent, il faisait l'analyse minutieuse de l'ouvrage, il en appréciait les beautés, il en signalait les parties faibles avec une finesse de tact, avec une rectitude de jugement admirables, et récitait, sans hésiter, à l'appui de ses remarques, de longues tirades de prose ou des centaines de vers qui venaient de se graver, comme par enchantement, dans une des plus étonnantes mémoires dont les annales littéraires aient jamais fait mention.

La réserve que Condorcet s'imposait devant des étrangers, faisait place, dans sa société intime, à une gaieté de bon ton, spirituelle, doucement épigrammatique. C'est alors que l'immense variété de ses connaissances se révélait sous toutes les formes. Il parlait avec une égale netteté, avec une égale précision, sur la géométrie et les formules du palais; sur la philosophie et la généalogie des gens de cour, sur les mœurs des républiques de l'antiquité et les colifichets à la mode.

Le secrétaire de l'ancienne Académie des sciences ne descendit dans l'arène de la polémique que pour défendre ses amis contre les attaques de la médiocrité, de la haine et de l'envie. Mais son courageux dévouement ne l'entraîna point à partager les injustes préventions de ceux-là mêmes auxquels il était le plus tendrement attaché. Ce genre d'indépendance est assez rare pour que j'en cite quelques exemples.

D'Alembert, dominé à son insu par un sentiment indéfinissable de jalousie, ne rendait pas à Clairaut toute la justice désirable. Examinez, cependant, si dans deux de ses éloges, si, en citant presque sans nécessité les relations de M. de Trudaine et de M. d'Arci avec l'auteur du bel ouvrage

sur la figure de la Terre, Condorcet hésite le moins du monde à appeler Clairaut un homme de génie, et à parler des *prodiges* de sa jeunesse.

Lagrange et d'Alembert n'accordaient aucune estime aux *Lettres d'Euler à une princesse d'Allemagne*. Ils en étaient venus, en les assimilant à une erreur de la vieillesse de Newton, jusqu'à les appeler « le Commentaire sur l'apocalypse d'Euler. » D'un autre point de vue, Condorcet, trouvant les lettres utiles, ne se contenta pas de les louer ; il s'en fit l'éditeur, sans même concevoir le soupçon qu'une opinion indépendante pût faire ombrage à ses meilleurs amis.

Le livre d'Helvétius avait irrité Turgot, qui s'en expliquait dans sa correspondance avec une vivacité extrême. Sur ce point, le célèbre intendant de Limoges supportait impatiemment la contradiction. Condorcet, néanmoins, soutenait la lutte avec la plus grande fermeté. Il était loin de prétendre que l'ouvrage fût irréprochable ; suivant lui, seulement, on s'exagérait ses dangers. Je ne résiste pas au plaisir de citer cette conclusion si gaie d'un des plaidoyers de notre ancien secrétaire : « Le livre ne fera aucun mal ni à moi ni à d'autres « bonnes gens. L'auteur a beau dire, il ne m'empêchera pas « d'aimer mes amis ; il ne me condamnera pas à l'ennui mor- « tel de penser sans cesse à mon mérite ou à ma gloire ; il « ne me fera pas accroire que, si je résous des problèmes, « c'est dans l'espérance que les belles dames me recherche- « ront, car je n'ai pas vu jusqu'ici qu'elles raffolassent des « géomètres. »

La vanité règne en souveraine dans toutes les classes de la société, et particulièrement, dit-on, parmi les gens de lettres. Nous pouvons affirmer, néanmoins, que ce mobile, que

ce stimulant si ordinaire, si actif de nos actions, n'effleura jamais la belle âme de notre ancien confrère. Quelques faits ont déjà témoigné de ce phénomène. J'ajouterai ici qu'à la suite d'une vive controverse touchant cette question de morale, mademoiselle de l'Espinasse embrassa le parti de ceux qui soutenaient que la nature, en ce genre, ne fait pas de miracles; qu'elle promit de se livrer à un examen de fait, et qu'après une longue épreuve elle s'avoua vaincue. Son esprit fin, pénétrant, n'était parvenu à saisir dans Condorcet ni un trait, ni un mouvement, ni même un symptôme de vanité, quoiqu'elle l'eût vu presque tous les jours pendant plusieurs années, et sans cesse en contact avec des littérateurs, des philosophes ou des mathématiciens.

La jalousie est la juste punition de la vanité, Condorcet n'éprouva donc jamais cette cruelle infirmité. Lorsque, absorbé par les devoirs impérieux de secrétaire de l'Académie, et, aussi, par une polémique littéraire ou politique de tous les jours, notre confrère se vit obligé de renoncer aux plaisirs vifs et purs que donnent les découvertes scientifiques, il n'en écrivait pas moins, comme d'Alembert malade, aux Euler, aux Lagrange, aux Lambert : « Donnez-moi des « nouvelles de vos travaux. Je suis comme les vieux gour- « mands qui, ne pouvant plus digérer, ont encore du plai- « sir à voir manger les autres. »

Condorcet avait poussé si loin le besoin de se rendre utile, qu'il ne fermait jamais sa porte à personne, qu'il était constamment accessible, qu'il recevait chaque jour, sans humeur, sans même en paraître fatigué, les interminables visites des légions d'importuns, de désœuvrés dont regorgent toutes les grandes villes, et au premier rang la ville de Paris. Don-

ner ainsi son temps au premier venu, c'est la bonté poussée jusqu'à l'héroïsme.

Je ne parlerai pas du désintéressement de Condorcet. Personne ne l'a nié.

« En morale, disait-il dans une lettre à Turgot, je suis « grand ennemi de l'indifférence et grand ami de l'indul- « gence. »

La phrase manquerait de vérité si on la prenait dans un sens absolu : Condorcet était très-indulgent pour les autres et très-sévère pour lui-même. Il portait quelquefois le rigorisme jusqu'à se préoccuper sérieusement, jusqu'à s'effaroucher de certaines formules de politesse qui ont cours dans la société, comme des pièces de monnaie dont on serait convenu de ne jamais examiner le titre. Ainsi, M. de Maurepas se montre très-irrité d'une lettre, dirigée contre Necker, et dans laquelle se trouvaient des passages qui pouvaient nuire au crédit public. Cette lettre n'était pas de Condorcet. Le duc de Nivernais veut décider son confrère et ami à l'écrire au ministre; il résiste avec une fermeté qui paraît inexplicable. Aujourd'hui je trouve l'explication dans une lettre inédite adressée à Turgot : « Le secrétaire de l'Académie « éprouvait de la répugnance à assurer de son respect un « homme qu'il était fort loin de respecter. »

Condorcet avouait les fautes, les erreurs qu'il avait pu commettre, avec une loyauté, un abandon que cette courte citation fera apprécier : « Connaissez-vous, lui disait-on un « jour, les circonstances qui amenèrent la rupture de Jean- « Jacques et de Diderot? — Non, répondit-il; je sais seule- « ment combien Diderot était un excellent homme : celui

« qui se brouillait avec lui avait tort. — Mais vous-même ?
« J'avais tort ! »

Dans l'édition donnée par l'auteur de *Mérope* des *Pensées* de Pascal, je trouve cette note de Condorcet : « L'expression « *honnêtes gens* a signifié dans l'origine les hommes qui « avaient de la probité; du temps de Pascal, elle signifiait « les gens de bonne compagnie ; maintenant on l'applique à « ceux qui ont de la naissance ou de l'argent. — Non, monsieur, « a dit Voltaire, en s'adressant à l'annotateur, les honnêtes « gens sont ceux à la tête desquels vous êtes ! »

Justifier cette exclamation, depuis qu'elle m'a semblé l'expression de la vérité, tel a dû être mon but principal en écrivant ces pages. Je serai heureux si le portrait que j'ai tracé de l'illustre secrétaire perpétuel de l'ancienne Académie des sciences, a dissipé de bien cruelles préventions, neutralisé l'effet des plus hideuses calomnies; si, d'accord avec tous ceux qui jouirent de l'intimité de Condorcet, vous voyez désormais en lui un homme qui honora les sciences par ses travaux, la France par ses hautes qualités, l'humanité par ses vertus.

ÉLOGE HISTORIQUE

D'AUBERT-AUBERT DU-PETIT-THOUARS.

PAR M. FLOURENS, SECRÉTAIRE PERPÉTUEL.

Lu à la séance publique annuelle du 10 mars 1845.

L'homme célèbre dont j'écris aujourd'hui l'histoire, a marqué sa place dans les sciences par des recherches profondes, et par une théorie neuve et hardie. Il faut lui tenir compte des travaux qui lui sont propres, des efforts qu'il a fait faire à ses rivaux, de la route qu'il a ouverte à ses successeurs.

Il descendait d'une famille noble, vouée depuis longtemps à la carrière des armes, et qui, joignant à beaucoup de bravoure beaucoup d'imprévoyance pour l'avenir et d'insouciance pour le présent, put souvent se dire que : « Tout était perdu, sauf l'honneur. »

Aubert Du-Petit-Thouars ne dépouilla jamais cette nature chevaleresque et aventureuse. Il la porta dans les sciences.

C'était un héritage patrimonial. Il réunissait, en lui, la loyauté, le courage de ses ancêtres, leur originalité singulière, leur générosité encore plus rare.

Son bisaïeul paternel s'était ruiné à la recherche de la pierre philosophale, et mourut en véritable alchimiste, c'est-à-dire en protestant qu'il était possesseur du grand secret, mais que, trop sage pour ne pas préférer aux richesses la simplicité des mœurs, il se gardait bien de le confier à ses descendants.

Son grand-père, après avoir porté les armes avec honneur, obtient, pour retraite, le commandement de Saumur. Il trouve, en arrivant, ce poste provisoirement confié à un militaire d'un grade inférieur au sien; mais ce militaire est un vieillard, il est mutilé et pauvre. Sur-le-champ, M. Du-Petit-Thouars écrit au ministre qu'il sera satisfait de servir sous les ordres de M. de Cannis, avec promesse de la survivance. En apprenant ce trait de délicatesse, le roi dit : Je lui accorde la survivance et une pension.

Aubert Du-Petit-Thouars naquit au château de Boumois en Anjou, le 5 novembre 1758. Devenu bientôt orphelin, ce fut le noble commandant de Saumur qui lui tint lieu de père. Il fit ses études au collége de la Flèche; et là il sembla lier toute sa vie à celle de son frère Aristide, Aristide, dont l'esprit vif, le cœur intrépide, annonçaient déjà le héros qui devait, un jour, jeter tant d'éclat sur notre marine.

Enfermés à la Flèche, et s'y ennuyant, nos écoliers se procurent un volume de Robinson : leur imagination enchantée

ne leur offre plus, dès lors, que voyages, que découvertes, qu'îles désertes à peupler et à policer. Pour arriver plus promptement à ce but, Aristide, le chef de l'entreprise, s'échappe, résolu de gagner un port de mer, et de s'y enrôler comme mousse. Poursuivi et ramené en fugitif, il subit un véritable emprisonnement, pendant lequel les deux étourdis se consolent en écrivant l'histoire des aventures qu'ils avaient rêvées.

Aubert Du-Petit-Thouars a paru dominé, dès l'âge le plus tendre, par cet esprit d'indépendance qui a décidé de toute sa vie.

Il fit assez mal ses premières études, par cela seul qu'on voulait qu'il fît des études. « Il semblait, a-t-il écrit plus tard, que j'avais une aversion préméditée pour tout ce qu'on me commandait, tandis que je me livrais avec passion à tout genre d'instruction que le hasard me présentait. »

Au sortir de l'École militaire, il fut placé dans un régiment d'infanterie.

Lors de son arrivée au corps, ses manières simples, son air de bonhomie, lui attirèrent quelques plaisanteries : on voulait éprouver son courage ; il fut longtemps sans le deviner ; mais dès qu'il eut compris, il commença par se battre avec le plus ancien de ses camarades, déclarant qu'il entendait bien en faire autant avec chacun des autres. On chercha vainement à l'apaiser ; on lui fit des excuses ; il ne voulut rien entendre, revenant toujours au projet de se battre avec tout le monde. A la fin, ne trouvant plus d'adversaires, et

ne voyant que des amis, il fallut bien qu'il se tînt pour satisfait.

Dès qu'il ne sentit plus de contrainte, son esprit actif et facile se tourna de lui-même vers les sciences. Je trouve, dans une de ses lettres, ces mots : « N'éprouvant plus la contrariété d'être enseigné, je fis de rapides progrès. » Il s'appliqua, d'abord, aux mathématiques, avec succès. Mais il avait toujours aimé l'étude de la nature.

Lorsque, encore écolier, il revenait, selon son expression, au *colombier chéri*, les vacances se passaient en courses libres et rêveuses; plus tard il ne vint en semestre ou ne rejoignit sa garnison qu'en herborisant. Une science qui appelait l'indépendance et permettait l'enthousiasme, devint bientôt pour lui une passion : peut-être le charme s'augmentait-il des difficultés qu'y mettait le service militaire.

Étant en garnison à Lille, il se fit recevoir membre d'une société d'histoire naturelle; et ce fut au corps de garde, la nuit qui précéda sa réception, qu'il écrivit son discours; essai d'une rédaction beaucoup trop rapide sans doute, mais où l'on remarque un esprit d'un ordre élevé, et ce besoin de toucher aux grandes questions, qui est la première audace du génie.

Il était arrivé au grade de capitaine, et chaque jour ajoutait à son ardeur pour la botanique : des relations liées avec MM. de Jussieu et de Lamarck lui avaient appris que lui aussi était botaniste. Il commençait, enfin, à sentir ses forces. Alors se réveilla, en lui, la passion des voyages.

Tout ce qui l'entourait, d'ailleurs, semblait conspirer pour rendre cette passion plus vive.

Dans ce colombier chéri, où six frères et sœurs, orphelins peu fortunés, mais riches d'affection les uns pour les autres, se réunissaient, chaque année, pour retrouver les joies et les épanchements de la famille, bien des prouesses avaient été rêvées, bien des campagnes sur mer s'étaient merveilleusement exécutées. Au lieu de châteaux en Espagne, on faisait des voyages lointains. Aristide, qui, déjà, s'était distingué dans la guerre d'Amérique, venait, entre chaque croisière, exalter toutes ces jeunes et ardentes imaginations.

On était à ce moment où le sort du malheureux La Pérouse occupait la nation entière. Aristide conçut le projet d'armer un navire pour faire le tour du monde à la recherche de ce brave marin.

En apprenant la résolution de son frère, Aubert lui écrivit : « Je quitte tout, je me joins à toi : tu seras le Cook ou le Bougainville de l'expédition, j'en serai le Commerson ou le Banks. »

Mais ce voyage, ce navire, cette glorieuse recherche, tout cela exigeait des frais énormes. Aubert et Aristide Du-Petit-Thouars proposèrent une souscription nationale. Louis XVI s'inscrivit, le premier, pour une somme de dix mille francs : pieux engagement que l'infortuné monarque ne put remplir. Les souscriptions manquèrent, les difficultés se multiplièrent. Ne comptant plus alors que sur eux seuls, les deux frères réunissent leur patrimoine et le sacrifient tout entier dans les frais d'armement... Enfin, s'ouvrait donc, pour eux,

cette carrière de péril et de gloire qu'ils avaient si souvent rêvée! Aristide était le chef d'une noble entreprise; Aubert allait voyager avec son frère, voyager pour la science, indépendant et dévoué.

Ils quittèrent Paris au mois de juillet 1792, pour se rendre à Brest, où ils devaient s'embarquer.

Ils voyageaient en poste. Aubert, qui goûtait peu cette façon d'aller, si contraire à ses habitudes, descendit bientôt de voiture; et, reprenant son bâton et sa boîte de fer-blanc, il se mit à herboriser.

A peine avait-il fait quelques lieues qu'il est rencontré par un peloton de jeunes volontaires. Son costume singulier les étonne. Les imaginations exaltées voyaient alors des suspects partout. On l'arrête; on le conduit en prison dans une petite ville voisine. Enfin, au bout de trois jours, il est relâché.

Mais ce retard l'avait irrité. Le civisme des autorités locales lui avait paru excessif. Il écrit une lettre dans laquelle il tourne ces autorités en ridicule; et, suivant jusqu'au bout son humeur railleuse, il met l'épître à la poste. Les résultats de son imprudence ne tardèrent pas à se faire sentir. En arrivant à Brest, il est arrêté de nouveau; et cette fois, après six semaines passées en prison, il est traduit devant le jury de Quimper.

A cette époque, une pareille folie pouvait lui coûter la vie. Sa famille, qui l'aimait tendrement, était dans la plus cruelle inquiétude. Pour lui, il paraît devant le jury, subit un long interrogatoire, est reconduit en prison. On vient bientôt le chercher pour le ramener devant ses juges; mais la cellule est vide; le geôlier va crier à l'évasion, lorsqu'il

aperçoit son captif perché sur une lucarne, et très-sérieusement occupé, la loupe en main, à examiner quelques mousses. On fut obligé de lui rappeler qu'il s'agissait de sa vie; et on l'emmena, presque sans qu'il y songeât, entendre le prononcé d'un jugement qui lui rendait sa liberté.

Malheureusement, les conséquences de sa folle imprudence ne devaient pas s'arrêter là.

Aristide, devenu, par cela même, l'objet d'absurdes dénonciations, avait été forcé de gagner la pleine mer; il était parti en indiquant à son frère l'Ile de France pour rendez-vous.

Aubert s'embarque aussitôt, lui dixième, sur un bâtiment beaucoup trop petit pour un aussi long voyage. Obligé de relâcher pendant cinq jours à l'île déserte de Tristan d'Acugna, il y trouve une végétation vierge, et qui, très-probablement, n'aurait jamais eu l'honneur d'une Flore particulière sans l'enthousiasme, toujours si prompt, de notre naturaliste. Le cinquième jour, il oublie de se rapprocher assez tôt du rivage, il s'égare dans l'obscurité, et passe une nuit entière sur ce rocher, pouvant craindre un abandon involontaire. Son imagination lui présente alors une vie qui, pour lui, n'eût pas été sans charme, mais qui ne fut heureusement qu'un rêve. On l'avait attendu.

Un séjour de quelques semaines au cap de Bonne-Espérance fut l'occasion de nouvelles et abondantes récoltes. Enfin, après six mois de traversée, il arrive à l'Ile de France.

Aristide ne s'y trouvait pas; mais ce n'était là, sans doute, qu'un retard : Aubert se résigna donc et attendit.

Arrivé sans argent, sans amis, sans crédit, il fut reçu par les créoles avec une bonté simple qui lui rendit sa vie nomade douce et facile. Vêtu d'un habit de toile de coton, pieds nus, un bâton à la main, un herbier sur le dos, véritable chevalier errant de la botanique dans ces campagnes rendues célèbres par le chantre de Paul et de Virginie, il parcourut l'île en tous sens, s'occupant avec passion d'en recueillir la flore, et passant des journées entières délicieusement absorbé dans ses études chéries.

Dans ce pays hospitalier, que tant de liens unissaient alors à la France, chaque case s'ouvrit pour notre voyageur; il y trouvait le vivre et le couvert : aussi ne prit-il jamais le souci de songer à son domicile. Chaque soir il s'abritait sous le dernier toit qu'il rencontrait; son esprit naturel, ses manières franches, le faisaient admettre au foyer de la famille : bientôt on souhaitait de le voir retenu dans le voisinage par de longues explorations; partout il se faisait des amis, et cette pauvreté insoucieuse, cette vie indépendante, toujours occupée, quoique toujours oisive, ce mélange de rêverie, de loisir, d'étude, tout cela se trouvait merveilleusement en rapport avec son humeur capricieuse et libre.

L'indépendance dont il jouissait avec tant de charme, il l'étendait jusque sur ses travaux. Il se créait une nomenclature particulière, d'après des vues nouvelles et très-méthodiques. Il écrivait à M. de Lamarck, en lui parlant des noms de plusieurs genres de plantes : « J'ai refondu tous ces genres ensemble, et j'ai forgé des noms pour tous. Je sais

combien cette matière est difficile à toucher; mais tant que je serai dans ces îles, je n'aurai pas de contradicteurs, formant à moi seul la société littéraire, l'Académie, et même l'Institut entier. De ce côté, j'en agis souverainement, sûr que personne n'y pourra redire, et quitte à me réformer, si je reviens jamais dans le pays des sciences. »

Après deux ans de séjour, il trouve une occasion de passer à Madagascar; et là, pendant six mois, il étudie cette île si curieuse et si peu connue, singulière en tout, et que l'ingénieux Commerson appelait la *terre promise* des naturalistes.

De retour à l'Ile de France, instruit, par un renseignement indirect, du sort d'Aristide, il lui écrit : « Enfin, je sais que tu es en Amérique, mais j'ignore quels événements t'y ont conduit. Pour moi, jeté sur cette terre, sans ressources, l'amitié et une franche hospitalité sont venues au-devant de mes besoins; il eût été au-dessus de mon industrie d'y pourvoir. »

En parlant de Madagascar, il dit : « Après six mois de séjour, je suis parti léger d'argent (contre la coutume), mais en revanche, riche en plantes curieuses. On est étonné que j'aie bravé l'intempérie d'un semblable climat pour de telles choses. Ils ne peuvent croire que l'ambition d'un botaniste soit aussi grande que celle d'Alexandre *et que la tienne.* L'un n'aurait pas voulu laisser de royaume qui n'eût ressenti l'effet de sa domination; l'autre aurait voulu que son vaisseau n'eût pas laissé un coin de terre inconnu; et moi je ne voudrais pas qu'il restât dans l'endroit le plus ignoré un seul brin d'herbe auquel je n'eusse donné un nom. Lequel des trois est le plus raisonnable? »

Tout le temps qui s'était écoulé depuis la séparation des deux frères, n'avait été, pour Aristide, qu'une suite de malheurs.

Une maladie violente avait décimé son équipage; il avait perdu son vaisseau; lui-même n'était parvenu qu'à travers mille périls à gagner l'Amérique. Ces désastres changeaient tout l'avenir de notre botaniste; plus de grands projets, plus de voyage autour du monde! Les deux frères étaient ruinés, séparés l'un de l'autre, sans moyens de se réunir. Aubert voulut du moins compléter les travaux qu'il avait entrepris. L'île Bourbon, par ses rapports avec l'Ile de France, lui offrait un vif intérêt : il résolut de s'y rendre.

Il y passa trois ans et demi, livré à des études profondes; mais c'est là qu'il devait être frappé du coup le plus rude qui pût l'atteindre.

Aristide Du-Petit-Thouars n'avait point failli aux nobles promesses de ses jeunes années; son nom était à jamais inscrit parmi ceux dont la patrie s'honore.

Rentré dans la marine en 1797, il commandait le vaisseau *le Tonnant,* à la bataille d'Aboukir. Il avait, d'abord, proposé de combattre sous voiles. Cet avis ne fut point suivi. L'action engagée, il pénétra le plan de l'attaque; et, par une manœuvre hardie, il suspendit un moment la victoire.

Dans cette journée fatale, où l'horreur d'un incendie qui consumait notre flotte ne fit reculer d'effroi que l'ennemi, la résistance du *Tonnant* fut sublime. On ne peut rappeler, sans une admiration douloureuse, tant de malheur et de gloire. Aristide Du-Petit-Thouars a les deux bras mutilés, un boulet lui emporte les deux jambes : tant que son âme

peut se faire entendre de ses soldats, il les enflamme d'un courage intrépide; et ses dernières paroles sont ce cri héroïque : *Braves marins, ne vous rendez jamais!*

Ses *braves marins* étaient dignes de lui. Cinq heures après la mort de leur chef, l'ennemi, trompé par la constance du combat et de l'héroïsme, criait encore, en s'adressant au *Tonnant : Brave Du-Petit-Thouars, rends-toi!*

Aubert Du-Petit-Thouars était fait pour comprendre tout ce qu'une telle mort laissait après elle de consolations. Son cœur se gonfla d'un noble et juste orgueil. Frère d'un héros, il sentit le besoin de revoir cette patrie qui lui coûtait si cher. Sa famille ayant obtenu son passage sur un bâtiment de l'État, il mit ses collections en ordre, partit, et vint débarquer à Rochefort le 2 septembre 1802.

Il avait adressé, pendant son absence, plusieurs mémoires à l'Institut. Il revenait, chargé de matériaux laborieusement conquis. Dans sa candeur naïve et chevaleresque, il s'attendait à voir tous les yeux fixés sur lui. Son retour, pensait-il, serait un événement heureux pour les sciences; toutes les portes lui seraient ouvertes; il n'aurait qu'à publier ses travaux : que d'illusions il devait perdre!

A peine eut-il touché le sol, que ses nombreuses caisses, remplies de ses chères récoltes, furent arrêtées faute d'argent. Dix ans d'absence lui avaient fait oublier toutes les tristes réalités, auxquelles on ne peut échapper en France comme aux îles australes.

Après avoir bravé pour la science des périls de tout genre, il venait lui demander une part de renommée qu'il voulait,

qu'il croyait mériter grande, et des moyens d'existence que la simplicité de ses goûts ne lui faisait désirer que bien modestes. Il fut longtemps sans rien obtenir.

Enfin, en 1807, la place de directeur de la pépinière du Roule vint à vaquer. Il écrivit à M. de Champagny, ministre de l'intérieur, pour la demander; et, quarante-huit heures après sa demande, il avait sa nomination. M. de Champagny s'était souvenu d'Aristide, son ami, son ancien compagnon d'armes dans la marine.

M. Du-Petit-Thouars put commencer dès lors à publier ses nombreux travaux, fruit de dix ans d'études isolées, mais ardentes.

Ces travaux ont été l'une des premières applications de la vraie méthode à la botanique; et par cela même ils méritent toute l'attention des naturalistes.

Laurent de Jussieu venait de publier son immortel ouvrage sur les *Familles des plantes.*

La méthode qui n'avait été, pendant trop longtemps, que l'art de distinguer les êtres, devenait enfin l'art de les associer.

Une lumière nouvelle se répandait sur les sciences naturelles, et, par ces sciences, jusque sur la philosophie elle-même; car c'est aux sciences naturelles que la philosophie devra la méthode.

Lorsque Bernard et Laurent de Jussieu, lorsque Georges Cuvier, trouvaient cet art profond des rapports et des caractères que nous nommons la *méthode,* ils ne trouvaient pas seulement l'art de classer les plantes ou les animaux, ils

trouvaient l'art de classer; et la méthode, la vraie méthode, n'a pas été seulement un progrès de l'histoire naturelle, elle a été un progrès de l'esprit humain.

M. Du-Petit-Thouars publia d'abord ses *Genres de Madagascar,* et bientôt après, ses *Plantes des îles australes d'Afrique.*

Il règne dans ces deux ouvrages, particulièrement dans le second, une imagination vive mais juste, une sagacité rare, et ce tact heureux qui n'est que le sentiment prompt des rapports des choses.

Fontenelle a dit de Malebranche qu'il était cartésien, mais comme Descartes. On peut dire de M. Du-Petit-Thouars qu'il applique la méthode naturelle comme les Jussieu.

Le bel ouvrage sur *les Plantes australes d'Afrique* est resté inachevé, et la science doit le regretter sans doute; mais la mémoire de l'auteur y perdra peu, car cet ouvrage est resté modèle.

L'imagination mobile de M. Du-Petit-Thouars ne lui permettait guère de s'occuper longtemps du même sujet. Ses idées l'emportaient. Il quitta le travail savant dont je viens de parler, pour un travail d'un tout autre genre, et la botanique proprement dite pour la physiologie végétale.

La botanique a commencé par étudier les rapports des plantes; et cette étude lui a donné la méthode. Elle a cherché ensuite à déterminer, par l'expérience, les forces propres qui animent le règne végétal; et cette étude lui a donné la physiologie.

Vers la fin du XVIIe siècle, deux hommes de génie, Mal-

pighi et Grew, portèrent l'anatomie dans la botanique. Dans le siècle suivant, Hales, Duhamel, Linné, Bonnet, joignirent la physiologie végétale à l'anatomie des plantes.

Ce fut un champ nouveau ouvert aux grandes recherches.

Hales fit connaître les forces qui agissent dans le végétal, et par le végétal sur les corps extérieurs, particulièrement sur l'air; Bonnet, l'usage des feuilles; Linné, les sexes des plantes; Duhamel ne laissa presque aucun phénomène de la vie végétale sans le soumettre à l'expérience.

On se fit enfin des idées plus justes de cette vie des plantes, en apparence si simple, au fond si compliquée; on vit que les plantes ont, comme les animaux, leurs fonctions subordonnées, leurs phénomènes successifs, leurs forces distinctes; plus on pénétra dans leur structure, plus on y découvrit de rapports suivis, de fins prévues, et, pour dire tout en un seul mot, de traces marquées de ce grand dessein qui a présidé à tout et que tout révèle.

D'ailleurs, les ouvrages mêmes dans lesquels ces belles découvertes étaient exposées, ces ouvrages sont des chefs-d'œuvre.

C'est là, c'est dans ces écrits immortels qu'il faut étudier sans cesse tous les secrets et toutes les ressources de l'art des expériences.

C'est là qu'on voit bien, et cet art profond de décomposer les phénomènes en leurs circonstances les plus simples, que nous apprit Galilée, et cette méthode savante de remonter des effets aux causes, des faits aux lois, qui fut celle du grand Newton.

Les anciens ont fait trop peu d'expériences. Aujourd'hui

on en fait beaucoup. Mais l'art des expériences n'est pas dans le nombre des expériences.

Il est un art de les raisonner, de les combiner, de les varier, de les multiplier à propos, d'en faire peu d'inutiles, et pour cela de n'en faire que de décisives; et cet art délicat, profond, cette force nouvelle de la pensée, ce grand art ne sera jamais, dans chaque siècle, que le partage heureux de quelques esprits d'élite.

Entre tous les phénomènes dont l'ensemble constitue la vie des plantes, il en est deux surtout qui se font remarquer, et par leur importance propre, et par l'importance des travaux dont ils ont été l'objet. L'un est le phénomène de la fécondation des plantes; l'autre est celui du développement des arbres.

La fécondation du palmier a été connue des anciens, qui n'y virent qu'un fait particulier. Le fait général de la fécondation des plantes commence à être aperçu dans le XVIIe siècle, par Millington, par Bobart, par Grew, par Ray. En 1702, Burckhard, dans une lettre adressée à Leibnitz, proposait déjà de fonder la classification du règne végétal sur les étamines et les pistils. En 1717, Vaillant marque nettement l'usage précis de chaque partie de la fleur dans la génération. Enfin, en 1760, Linné démontre la fécondation des plantes par des expériences aussi claires que sûres, et donne à la physiologie végétale son plus grand fait.

La question du développement des arbres a marché beaucoup moins vite.

On sait depuis longtemps, surtout depuis Duhamel, que les arbres croissent en grosseur par couches superposées.

Quand on examine le tronc d'un arbre, coupé en travers, on voit que ce tronc se compose d'un certain nombre de cercles concentriques. Chaque cercle est le résultat de l'accroissement d'une année. Le nombre de ces cercles représente donc l'âge de l'arbre.

Dans la grande étude de la nature, les faits les plus simples touchent aux conséquences les plus merveilleuses.

On a compté le nombre des couches sur plusieurs arbres; et l'on n'a pu voir sans surprise qu'il est des arbres qui sont nos contemporains, et qui, peut-être, l'ont été des premiers commencements de la période actuelle du monde.

M. de Candolle a vu des tilleuls, des chênes, qui avaient jusqu'à deux, jusqu'à trois mille ans d'existence.

Adanson a vu, au Sénégal, un arbre gigantesque, le boabab, qui en avait près de six mille.

De nos jours, quelques philosophes ont cru pouvoir ramener l'ancienne opinion de la transformation des espèces. Assurément, jamais hypothèse ne fut plus complétement démentie par les faits. Depuis le dernier déluge, c'est-à-dire, à compter avec M. Cuvier, depuis à peu près six mille ans, aucune espèce n'a changé. Toutes sont restées immuables; et ce ne sont pas seulement les espèces qui, depuis lors, se conservent, les individus eux-mêmes, du moins certains individus, ont pu subsister et subsistent : le boabab d'Adanson date peut-être de la dernière catastrophe du globe.

Les arbres croissent donc par couches superposées et

concentriques. Là est le fait certain. Mais quel est le mécanisme de ce fait? Ici commence le doute.

Malpighi dit que l'arbre grossit, chaque année, parce que, chaque année, les couches les plus intérieures de l'écorce se transforment en bois. Grew le dit aussi, et les expériences de Duhamel semblaient avoir confirmé cette opinion, qui régnait ainsi depuis plus d'un siècle, lorsque M. Du-Petit-Thouars en proposa une autre très-différente.

Une bouture de *dracæna,* qu'il trouve par hasard, lui suggère une vue; et cette vue, suivie avec génie, lui a donné une théorie toute nouvelle.

L'idée principale de M. Du-Petit-Thouars consiste à regarder les fibres ligneuses de chaque couche annuelle comme formées par les bourgeons. Selon lui, chaque bourgeon est un petit arbre qui se développe sur le grand; chaque bourgeon a ses racines; et ce sont ces racines qui, en descendant, enveloppent le tronc d'une couche nouvelle de bois.

La théorie de M. Du-Petit-Thouars renverse toutes les idées reçues.

On avait toujours supposé que l'accroissement de l'arbre en grosseur se faisait dans le sens horizontal : M. Du-Petit-Thouars veut qu'il se fasse dans le sens vertical.

Jusqu'à lui, le végétal, l'arbre, était considéré comme un individu unique : selon lui, l'arbre n'est plus qu'une collection d'individus; c'est le bourgeon qui est l'individu même.

On avait cru, dans ces derniers temps, pouvoir admettre deux modes de développement distincts, l'un pour les arbres

à un seul cotylédon, l'autre pour les dicotylédones : M. Du-Petit-Thouars ramène le développement de tous les arbres à un seul mode, à une loi commune.

Et ces idées si neuves, ces idées si contraires à toutes les opinions admises, il les appuie, d'abord, sur la structure même du *dracæna*, où, en effet, la marche descendante des fibres, depuis le bourgeon jusqu'aux racines, paraît évidente.

Il les appuie, d'un autre côté, sur une expérience fort simple et fort connue. Lorsqu'on enlève un anneau d'écorce sur le tronc d'un arbre, l'arbre grossit au-dessus, et ne grossit pas au-dessous. La matière qui grossit l'arbre descend donc et ne monte pas.

Il les appuie, enfin, sur l'analogie. En effet, l'arbre a commencé par croître dans la graine, comme, selon les idées nouvelles, chaque bourgeon croît ensuite sur l'arbre lui-même. Un seul mécanisme, toujours répété, donne donc toutes les phases de l'accroissement des arbres ; une seule loi règne ; et, considérée de ce point de vue, la théorie de M. Du-Petit-Thouars, la théorie du développement par générations renouvelées, prend un caractère de grandeur qu'on ne saurait nier.

Au reste, en m'exprimant ainsi, je suis loin de vouloir sortir de mon rôle de simple rapporteur. Je ne prétends pas décider une question sur laquelle plus d'un grand maître hésite encore. Je suis historien, je ne prononce pas, j'expose, et je n'oublie pas que le premier historien de l'Académie, Fontenelle, avait pris pour devise cette maxime, qu'une grande partie de la sagesse est de ne pas juger.

J'irai plus loin : j'avouerai que M. Du-Petit-Thouars n'a pas entouré sa théorie de preuves assez fortes : il n'a pas fait assez d'expériences ; il ne les a pas suivies.

Peut-être même n'avait-il pas le tour d'esprit qu'il fallait pour donner à une vérité, soudainement saisie, l'autorité d'une vérité démontrée.

Ce qui l'entraînait surtout, c'était le plaisir de la méditation, de la conjecture : il commençait beaucoup et finissait peu ; il a manqué de suite et d'ordre ; mais il a eu des idées, des vues, des conceptions brillantes, de beaux éclairs.

C'est là ce qui fait le caractère de son génie. Partout, dans ses *Plantes des îles australes d'Afrique,* dans ses *Essais sur la végétation,* jusque dans ses brochures les plus rapidement écrites, on trouve le cachet d'une originalité vive et heureuse. Il pense et il fait penser.

M. Du-Petit-Thouars a eu le privilége, en tout genre si rare, de donner aux esprits une impulsion nouvelle ; il a laissé à la botanique proprement dite des ouvrages d'un ordre supérieur, à la physiologie végétale une vue qui semble devoir en changer la face ; et son nom, son beau nom, sera toujours prononcé avec éclat dans l'histoire d'une époque marquée par les grands noms de Laurent de Jussieu et de de Candolle.

Sa théorie mise au jour, M. Du-Petit-Thouars, toujours confiant, s'attendait à voir aussitôt l'attention générale fixée sur elle. Trop peu maître de lui pour s'en rapporter au temps, il demandait partout des juges, et même des adversaires. En Angleterre, il écrivait à Banks ; en Allemagne, il s'adressait à Sprengel, et lui disait : « J'ai tellement le sen-

« timent de l'évidence sur les principes que j'ai posés, que je « me regarderais comme un visionnaire si l'on venait à me « montrer que je me suis trompé ». Il ajoutait avec douleur : « J'ai beau provoquer, personne ne me répond. »

Enfin, les contradicteurs arrivèrent.

On commença par faire remarquer, dans un mémoire de La Hire, quelques phrases, en effet très-belles, sur l'idée profonde du développement par générations renouvelées.

M. Du-Petit-Thouars avait donc été prévenu. Faut-il l'en plaindre? assurément non. Quand il s'agit d'une théorie aussi hardie que la sienne, on peut facilement prendre son parti de s'être rencontré avec un homme tel que La Hire, d'un esprit universel et partout juste.

Ceci n'était que le prélude. Une fois le débat commencé, on passa bientôt au fond des choses. On multiplia les objections, il multiplia les réponses. Cet état de guerre plaisait singulièrement à M. Du-Petit-Thouars. Il avait coutume de dire qu'il marchait toujours les armes à la main. Ce qu'il appelait ses armes consistait en de petits morceaux de bois, disposés de manière à prouver toute la suite de ses idées, et dont, à l'occasion, il ne manquait jamais, en effet, de remplir ses poches.

Au reste, quelque passionnée que fût la discussion, il y conservait toujours cette loyauté parfaite, cette bonne foi innée, qui faisaient le fond de son caractère. Jamais un sentiment d'aigreur n'altéra ses jugements sur les autres. Rendu au calme, il parlait simplement de ses propres travaux, et même de cette théorie, qui fut cependant sa plus chère

espérance de gloire. « Le hasard, disait-il, a mis entre mes « mains un fil qui m'a conduit par des routes nouvelles : je « les ai aperçues, c'est à d'autres qu'il appartiendra de les « parcourir. »

Un botaniste portugais qui, dans quelques pages échappées à sa plume, a laissé un monument durable de son génie, M. Correa de Serra, le peignait par ce mot charmant : « C'est « une âme innocente qui traverse la vie. »

Je n'ai raconté jusqu'ici que les travaux du naturaliste. Je ne dois pas oublier ceux de l'érudit; car M. Du-Petit-Thouars a été un érudit dans toute la force du terme. Il ne savait pas seulement l'histoire des idées ; il savait celle des livres, et jusqu'à celle des gravures qui, dans les livres les plus originaux, ne sont pas toujours originales. Ses biographies des botanistes célèbres sont remarquables par un savoir profond, et, ce qui est beaucoup plus, par la critique saine d'un esprit excellent et supérieur.

Dans sa passion pour la botanique, il crut devoir tenter tous les moyens de lui être utile. Il voulut essayer de l'enseignement. Il ouvrit donc un cours, et il raconte lui-même, avec une spirituelle bonhomie, comment il fut conduit à imprimer ses leçons.

« Voyant, dit-il, le moment favorable arrivé, je me déterminai à publier une simple annonce; je sentais bien que je n'avais pas fait les démarches nécessaires pour avoir beaucoup d'auditeurs, en sorte que je ne fus pas très-étonné de n'en trouver qu'un seul. Un petit nombre m'eût embarrassé; mais si j'en avais rencontré vingt seulement, j'aurais été

pleinement satisfait, car j'aurais eu l'espoir de voir quelques personnes prendre une idée juste de mes recherches sur la végétation. »

Cette simplicité, en parlant de lui-même, n'ôtait point à M. Du-Petit-Thouars la conscience de sa supériorité; mais il savait qu'il est des succès auxquels toutes les natures, tous les esprits, ne sauraient prétendre.

En 1820, le profond botaniste Richard, en présentant M. Du-Petit-Thouars à l'Académie, s'exprimait ainsi : « Je ne m'arrêterai pas à discuter des travaux qui vous sont connus; je viens, Messieurs, réclamer au milieu de vous la place d'un homme de génie. »

M. Du-Petit-Thouars fut nommé. Il eut alors tout ce qu'il avait désiré : une grande réputation conquise par ses travaux, le plus beau titre que puissent donner les sciences, et, ce qu'il ne faut pas oublier, une existence aussi libre que simple.

Il s'était créé dans sa pépinière une véritable case, où il vivait en colon au milieu de Paris. Là, tout le charmait; il y passait des méditations aux expériences. Il se trouvait si bien, qu'il écrivait à un savant étranger : « Je ne pouvais « rencontrer une place qui me convînt mieux : j'ai des ap- « pointements modiques, mais suffisants; je suis entouré de « plantes que je traite comme bon me semble. *Que faut-il* « *davantage?* »

Ce bonheur ne devait pas durer. En 1827, la pépinière du Roule fut supprimée. Peut-être cet établissement n'avait-il

plus alors la même utilité qu'il avait eue pendant près d'un siècle; peut-être aussi que l'intérêt de l'agriculture, de ce grand art à l'abri duquel tous les autres vivent, aurait pu le faire respecter. Quoi qu'il en soit, M. Du-Petit-Thouars eut beau réclamer, protester, en appeler au roi, aux chambres, à l'opinion publique. Tout fut inutile. Il en conçut un chagrin si vif, que sa santé s'altéra; et bientôt cette vie, si agitée, si tourmentée du moins à la surface, au fond si calme, s'éteignit.

De ses douces affections de l'enfance, une sœur lui était restée : elle avait été, pendant ses longues années d'exil, le lien qui le rattachait à la patrie; elle avait préparé son retour en France; compagne fidèle, elle partagea, dès lors, toutes ses peines, toutes ses joies; et aujourd'hui encore, toujours dévouée à la mémoire de deux frères qui lui furent si chers, c'est le soin, c'est le culte de leur gloire qui animent et soutiennent sa vie.

Le 12 mai 1831, Aubert Du-Petit-Thouars mourut. Il avait vécu isolé, presque pauvre : rien ne semblait devoir troubler le silence de sa retraite. Cependant, des larmes ne tardèrent pas à révéler quelle avait été sa plus douce, sa plus secrète occupation. Des malheureux venaient pleurer leur bienfaiteur. Dans un cœur aussi naturellement généreux, le plaisir des bonnes actions avait dû l'emporter bientôt sur le plaisir même des succès et des découvertes.

Il est, dans la vie de l'homme, un âge pour l'ambition de l'esprit. L'esprit veut alors tout pénétrer, tout comprendre.

Mais, plus l'esprit s'élève, plus l'âme devient sensible. Plus on a fait d'efforts pour se rendre digne d'éclairer les hommes, plus on goûte le bonheur de leur être utile.

A la fin d'une longue carrière, et la plus brillante par les travaux de l'esprit qui ait jamais été, Voltaire, le grand Voltaire, disait :

« J'ai fait un peu de bien, c'est mon meilleur ouvrage. »

NOTES.

PAGE IV. *Il s'appliqua, d'abord, aux mathématiques avec succès.*

On trouve des traces de cette première étude dans plusieurs de ses écrits, particulièrement dans son *Essai* sur la *distribution des nervures dans les feuilles du Marronnier d'Inde.*

C'est là que je lis cette phrase remarquable : « Il résulterait, de ces vérités toujours justifiées par les faits, qu'il y a dans la nature une géométrie très-profonde et très-haute, qu'il nous importe d'autant plus de pénétrer, que ce n'est qu'autant que nous y aurons fait des progrès, que nous pourrons nous flatter d'être sur la route qui conduit à la révélation de ses mystères. »

Voyez encore son mémoire sur ces deux propositions : *L'arithmétique de la nature est toujours conforme à sa géométrie ; — La nature a plus de propension à employer le nombre cinq que tout autre*, etc.

PAGE IV... *Essai d'une rédaction beaucoup trop rapide sans doute.....*

C'est sa *Dissertation sur l'enchaînement des êtres.* Lille, 1788.

PAGE VIII... *Il se créait une nomenclature particulière, d'après des vues nouvelles et très-méthodiques.*

Dans cette nomenclature nouvelle des deux familles qu'il avait le plus

étudiées, les *Orchidées* et les *Fougères*, tous les noms se terminaient, pour la première en *Orchis*, et pour la seconde en *Filix*.

Voici comment il rend compte lui-même des vues qui l'avaient guidé (1) :

« Profitant (on sent, dès ce premier mot, que c'est lui qui parle) de la « circonstance où il se trouvait, celle d'être privé de toute communica- « tion avec ceux qui s'occupaient des sciences, il abandonna tous les sen- « tiers battus jusqu'alors, et dressa un tableau synoptique dans lequel il « rangea toutes ses espèces. Il ne consulta pour ce travail que la nature. Il « en résulta trois divisions primaires, ou sections, et vingt et une secondai- « res, ou genres. Il désigna d'abord ces groupes par des lettres disposées « dans l'ordre alphabétique; mais il fallait leur donner des noms plus dis- « tincts. Pour cela, réfléchissant que la famille (il s'agit ici de la famille des « *Orchidées*) dont ces plantes faisaient partie, était tellement circonscrite, « qu'il n'y avait pas d'apparence qu'elle se mêlât avec d'autres, il jugea « qu'il pouvait être avantageux que les noms qu'il imaginerait fussent tels, « qu'ils pussent tout de suite rappeler cette famille; ce fut en leur donnant « la même terminaison, celle d'*Orchis*. Un premier membre, significatif ou « non, distinguait ces noms entre eux. Il avait déjà suivi le même procédé « dans un travail très-étendu sur la famille des Fougères. Pour les espèces, « il suivit une marche uniforme; il leur donna pour finale la première « partie du nom générique, avec la terminaison en *is*, et pour caractéris- « tique, un premier membre également significatif ou non. Cette nomen- « clature était calquée sur celle adoptée par l'École chimique française... »

« Est-il utile, disaient à cette occasion les commissaires chargés par « l'Académie d'examiner les travaux de M. Du-Petit-Thouars, de répéter « ainsi le nom de la famille, chaque fois qu'on prononce ou qu'on lit celui « de ses genres? Nous trouvons plus d'inconvénients que d'avantages à « adopter une telle nomenclature.... »

Ils avaient raison. La nomenclature de M. Du-Petit-Thouars n'en est pas moins un essai très-ingénieux et qu'il faut conserver, car c'est une preuve

---

(1) Le passage qui suit est tiré d'un *Extrait*, rédigé par lui, sur lui-même, pour le *Bulletin de la Soc. Philom.*

nouvelle, et très-curieuse, de tout ce qu'il y avait de ressources dans cette imagination si libre et si vive. Au fond, les mots ne sont que des mots; tout le problème est de trouver la combinaison de ces mots la plus commode pour chaque science. Or, aujourd'hui, l'expérience en est faite : la nomenclature *à mots composés* est la plus commode en chimie, et la nomenclature *à deux mots*, la *nomenclature binaire*, est la plus commode en botanique, en zoologie.

Page xiii. *Il applique la méthode naturelle comme les Jussieu.*

Le livre de Laurent de Jussieu, ce livre que nous admirons, chaque jour, davantage, parce que, chaque jour, nous l'étudions mieux, était le seul qu'il eût emporté avec lui.

D'un côté ce livre, de l'autre la nature, ses idées en fait de méthode pouvaient-elles manquer d'être aussi profondes que vraies?

Page xvi. *Le boabab d'Adanson date peut-être de la dernière catastrophe du globe.*

M. de Candolle regarde la durée de la vie des arbres comme étant à peu près indéfinie.

« Tant qu'on n'avait eu, dit-il, que le chiffre du boabab donné par « Adanson, on avait été forcé de le regarder comme une erreur ou comme « une exception. Le tableau précédent (tableau où se trouvent réunis plu- « sieurs exemples d'arbres devenus très-vieux) prouvera qu'il rentre dans « les lois générales de la végétation, et fixera l'attention sur ce phénomène « de l'extraordinaire longévité et de la durée comme indéfinie dont cer- « tains végétaux sont susceptibles. » *Physiologie végétale*, t. II, p. 1007.

Page xvii. *Grew le dit aussi.*

J'adopte ici, relativement à Grew, l'opinion commune, particulièrement celle de Duhamel (*Physique des arbres*, t. II, p. 24). La vérité est, ce-

pendant, que Grew ne s'exprime pas d'une manière bien claire. On ne voit pas bien ce qu'il pense, et si, dans son opinion, la nouvelle couche vient du bois ou si elle vient de l'écorce.

Page xviii. *Lorsqu'on enlève un anneau d'écorce sur le tronc d'un arbre, l'arbre grossit au-dessus et ne grossit pas au-dessous.*

Si ceci était constant, la question serait résolue, et le serait dans le sens de M. Du-Petit-Thouars. Mais l'arbre grossit quelquefois *au-dessous*, quoique toujours beaucoup moins qu'*au-dessus*.

N'y a-t-il là, comme le croit M. de Candolle (*Organographie végétale*, t. I, p. 206), qu'une simple différence d'épaisseur dans les couches? Y a-t-il au contraire, comme le veut M. Du-Petit-Thouars, différence de nature entre les deux couches? L'inférieure manque-t-elle de fibres ligneuses?.... Toute cette matière, beaucoup plus compliquée qu'il ne semble au premier aspect, demande des expériences nouvelles.

Page xviii... *Sur laquelle plus d'un grand maître hésite encore.*

Voyez le beau mémoire de M. de Mirbel sur le développement des *végétaux monocotylés*. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XVI, p. 1213.)

Page xix. *Il n'a pas fait assez d'expériences.*

Ces expériences qu'il n'avait pas faites, le sont, de nos jours, par M. Gaudichaud. Voyez toute la suite si remarquable des travaux qu'il publie sur ces grandes questions. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XVI et suiv.)

Page xix. *Partout... dans ses* Essais sur la végétation, *jusque dans ses brochures les plus rapidement écrites.*

Il a rassemblé les principales idées de toutes ses brochures, de tous ses mémoires, dans ses *Essais sur la végétation.*

Ces *Essais* sont au nombre de treize.

Les deux premiers sont les plus importants. Dans le premier (sur l'accroissement du *Dracœna*), l'auteur pose les fondements de sa théorie. Dans le second (sur l'accroissement du *Tilleul* et du *Marronnier d'Inde*), il étend sa théorie, du *Dracœna*, au *Tilleul* et au *Marronnier d'Inde*, c'est-à-dire, des *monocotylédones* aux *dicotylédones.*

L'auteur étudie successivement, dans les autres *Essais*, la germination du *Lecythis;* le rôle du bourgeon dans la greffe; la formation du parenchyme par l'amidon; l'expérience de la décortication annulaire; la production et la marche de la séve; la formation du bourgeon; la distribution des nervures dans les feuilles du *Marronnier d'Inde;* les fonctions de la moelle et du liber; il y établit l'identité des tiges et des racines; il y expose ses vues sur les rapports de la végétation et du galvanisme; il y répond aux objections élevées contre sa doctrine, et particulièrement à celles que l'on tirait de la greffe, etc., etc.

Dans cette suite de brillants *Essais*, les vues abondent. Il y en a sûrement assez pour défrayer vingt ouvrages ordinaires de botanique. Là, tout est soulevé et discuté, agité du moins; mais peu de points sont éclaircis d'une manière précise, surtout complète.

Page xx... *Quelques phrases, en effet, très-belles.*

« Je suis persuadé, dit La Hire, que chaque branche qui sort d'une autre « à son extrémité, ou de l'aisselle d'une feuille, est une nouvelle plante « semblable et de même espèce que celle où elle est, laquelle est produite par « un *œuf* qui y est attaché...

« Ce système de l'accroissement des arbres et des plantes par des généra- « tions toujours nouvelles, lequel a été avancé par de très-savants philo- « sophes, paraît bien confirmé dans les greffes en *écusson*, qui ne contien- « nent qu'un œuf de la plante ou de l'arbre. Et lorsque le germe de cet œuf « est attaché à une tige, il n'y a que la branche qui pousse en dehors; car « pour la racine, elle se confond avec la branche en poussant entre son bois

« et son écorce, ce qu'on remarque assez distinctement dans quelques « arbres en les coupant..... »

Cette théorie de La Hire par *générations renouvelées*, est la première vue de la théorie des *germes accumulés*, devenue si célèbre dans Buffon et dans Bonnet. (Voyez mon *Histoire des travaux et des idées de Buffon*, chap. III, p. 59).

« Il est très-facile d'expliquer par ce système, dit en effet La Hire, pourquoi « un arbre qu'on a étêté pousse une nouvelle tête composée d'une grande « quantité de branches. Car si l'on suppose qu'il y a une infinité de petits « œufs de la nature de l'arbre, lesquels sont dispersés de tous côtés entre « l'écorce et le bois, et qui ne peuvent pousser et éclore que lorsqu'ils au« ront une suffisante quantité de nourriture, il sera facile à juger que le « suc qui coulait avec rapidité vers les extrémités des branches avant que « l'arbre fût coupé, étant contraint de s'arrêter à l'endroit de la taille et « d'y séjourner...., fera éclore et pousser tous les petits germes qui y étaient « répandus, avec assez de vigueur pour se faire jour au travers de l'écorce « qui est épaisse et fort dure en cet endroit. » *Explication physique de la direction verticale et naturelle des tiges des plantes*, etc. (*Mémoires de l'Académie des sciences*, ann. 1708, p. 233—234.)

Page xx. *On multiplia les objections.*

Une des principales est celle qui fut tirée de la greffe. Quand on greffe un arbre sur un autre, toutes les couches nouvelles devraient évidemment, d'après la théorie de M. Du-Petit-Thouars, venir de la *greffe*, puisque c'est la greffe qui fournit le bourgeon. Or en est-il ainsi? A s'en tenir à l'apparence, cela ne serait pas; car les couches qui se forment sur le *sujet* ont la couleur du bois du *sujet*, et celles qui se forment sur la *greffe* la couleur du bois de la *greffe*. Mais ici, la *couleur* suffit-elle pour décider de la *nature* du bois? M. Du-Petit-Thouars ne le pensait pas. Voyez aussi les nouveaux travaux, déjà cités, de M. Gaudichaud.

Page xxi..... *Monument durable de son génie....*

Je veux parler du mémoire de Correa de Serra sur la famille des *Oran-*

gers, mémoire qui n'a que quelques pages, mais pleines d'idées, et de ces idées arrêtées, de ces idées profondes et nettes, qui révèlent une force d'esprit bien rare.

Page xxi. *Ses biographies des botanistes célèbres......*

Voyez les premiers volumes de la *Biographie universelle*.

MÉMOIRE

SUR DIVERS POINTS

D'ASTRONOMIE ANCIENNE,

ET EN PARTICULIER

SUR LA PÉRIODE SOTHIAQUE,

COMPRENANT 1460 ANNÉES JULIENNES DE $365^{j}\frac{1}{4}$.

PAR M. BIOT.

Lu à l'Académie des sciences le 17 novembre 1845, et antérieurement à l'Académie des inscriptions et belles-lettres, dans les mois de janvier et février de la même année.

Le travail que je soumets en ce moment à l'Académie fait suite à celui que je lui présentai en 1831, sur l'année vague des anciens Égyptiens, et qui est inséré au tome XIII de ses Mémoires. Il a pour but de confirmer les résultats de ces premières recherches, et de les employer à éclaircir plusieurs points importants d'astronomie ancienne qui m'ont paru n'avoir pas été assez étudiés, ou l'avoir été inexactement, par le manque de notions pratiques suffisamment précises.

J'ai été conduit à cette révision générale, en voulant discuter la réalité de l'antiquité attribuée à une période de temps fort célèbre parmi les chronologistes, sous la désignation de cycle sothiaque ou caniculaire. On la nomme ainsi, parce que son commencement et sa fin sont fixés aux époques où le lever héliaque de l'étoile Sirius, appelée par les anciens Égyptiens *Sothis*, et *le Chien* par les Grecs, revenait coïncider avec le premier jour de l'année égyptienne vague. D'après les calculs de concordance, et d'après la position astronomique de Sirius, cette coïncidence a dû s'opérer *numériquement*, sous le parallèle moyen de l'Égypte, antérieurement à l'ère chrétienne, au vingtième jour de juillet des années juliennes —1322, —2782; et plus haut encore, en remontant par des périodes égales, comprenant chacune 1460 années juliennes de $365^{j}\frac{1}{4}$, ou 1461 années égyptiennes vagues, chacune de 365^{j}. Des érudits du premier ordre ont supposé à ce cycle une très-haute antiquité d'application. Fréret, entre autres, dans son ouvrage contre le système chronologique de Newton, en fait remonter l'invention et l'emploi pratique jusqu'à la coïncidence de —2782; et il le présente comme ayant été le fondement de l'année de 365 jours usitée en Égypte (1). La première de ces assertions m'a paru n'être appuyée sur aucun document historique assez ancien pour la justifier. La seconde m'a semblé incompatible avec les démonstrations que la pratique de l'astronomie suggère, quand on vient à considérer le caractère essentiellement

(1) Fréret, *Défense de la chronologie, etc.*, éd. in-4°, Paris, 1758. Premières observations, pag. 25; nouvelles observations, pag. 400 et suivantes; id., pag. 247; id., pag. 493.

vague d'un lever héliaque, et l'impossibilité qu'on aurait trouvée à lui assigner, par l'observation, une date assez précise pour servir d'origine à une période chronologique usuelle. En conséquence, je prouverai d'abord, contre l'opinion de ce savant critique, que si l'on veut considérer le cycle dont il s'agit comme une institution réellement ancienne, il ne pourrait avoir commencé, ni existé, avant la plus récente de ces deux époques, celle de — 1322. Je montrerai ensuite que l'on ne peut pas même, avec vraisemblance, lui attribuer un emploi réel, soit historique, soit astronomique, dans cet intervalle restreint; parce que, selon toute probabilité, l'époque de l'établissement qui lui est assignée n'a pas été déduite d'anciennes observations qui auraient été pratiquement faites, et transmises aux temps postérieurs avec des dates continues, mais a été conclue numériquement, par une computation rétrograde, de déterminations théoriques obtenues au temps de Ptolémée, pour faire une application astrologique ou sacerdotale du renouvellement de la période à l'avénement du premier Antonin. Le soupçon de cette flatterie a déjà été émis par Dodwell, qui d'ailleurs paraît croire à la réalité de détermination astronomique de la date primitive (1). Je m'écarte de lui en ce point. Mais je fortifierai

---

(1) Dodwell, *Appendix ad dissertationes cyprianicas*, pag. 26. « Est « itaque omnino verisimile, in honorem Antonini Pii, novam hanc ab « Ægyptiis institutam esse epocham, atque adeo ab ejusdem imperio esse « numerandam, neque enim est quod ab illius seculi moribus alienum « putemus ipsum hunc honorem. » Toutefois Dodwell ne me semble pas avoir compris, ou du moins expliqué, *pourquoi* la rénovation de la période a été appliquée à l'année indiquée comme la deuxième d'Antonin dans le

son opinion, sur la fixation de la limite finale, par des preuves qui lui donneront, je crois, le caractère de la certitude.

PREMIÈRE PARTIE.

Avant tout, j'ai besoin de rappeler en quoi consiste le cycle ainsi désigné, et sur quel phénomène naturel il se règle. Car ces deux points sont les éléments essentiels de la discussion; et on les a souvent confondus avec d'autres qui n'y ont aucun rapport.

On sait que, depuis une haute antiquité jusqu'à des époques avancées de la domination romaine, les naturels égyptiens ont employé usuellement une année de 365 jours. Cette forme d'année est mentionnée par Géminus comme leur étant depuis longtemps propre. C'est celle qu'Hérodote leur attribue. Elle est retracée dans la notation figurée de l'année égyptienne que Champollion a expliquée. Il l'a trouvée inscrite, avec tous les caractères qui la désignent, dans des textes, et sur des monuments qui remontent jusque dans la dix-huitième dynastie. Plusieurs monuments des dynasties antérieures ont

canon des rois, et non pas à la première. Je donne plus loin la raison de ce choix, d'après le système chronologique suivant lequel le canon est construit conformément aux usages égyptiens.

encore offert les caractères des douze mois de trente jours qui en formaient la portion principale, et vraisemblablement primitive. Mais on n'y a plus, jusqu'à présent du moins, retrouvé les cinq jours épagomènes qu'on y voit postérieurement annexés.

Les 365 jours qui la composaient, depuis cette adjonction, formant une somme moindre que la durée d'une année solaire, elle se trouvait toujours révolue avant que celle-ci fût terminée. Ainsi, chaque jour égyptien, d'une dénomination fixe, revenait plus tôt que la phase solaire avec laquelle il avait précédemment coïncidé; et, reculant ainsi devant elle de plus en plus, à chaque retour il se transportait successivement dans toutes les saisons. C'est pourquoi les chronologistes et les astronomes ont appelé cette forme d'année une *année vague*. Géminus nous apprend que les Égyptiens s'accommodaient de ce transport, en disant que toutes les parties des saisons se trouvaient ainsi sanctifiées par les fêtes et les sacrifices attachés à chacun des 365 jours de leur calendrier. Ils auraient pu en donner des raisons meilleures. Car, d'abord, le fait de son déplacement étant une fois accepté ou justifié, elle était si commode par la simplicité de sa numération, que Ptolémée l'a préférée à toute autre pour la construction de ses tables astronomiques, quoiqu'il connût bien l'intercalation quadriennale, puisqu'elle était usitée de son temps à Alexandrie. Ensuite, pour l'appliquer au ciel, les Égyptiens avaient seulement à constater le cours naturel du soleil et de la lune dans la série des jours, sans se mettre en peine de les concilier, comme les Grecs et les Romains s'efforcèrent si longtemps, et si vainement, de le faire. Or, la marche de ces astres s'y adaptait par les rapports les plus

faciles à reconnaître. Par exemple, les nouvelles et les pleines lunes se trouvaient ramenées par les mouvements moyens aux jours de même dénomination, après vingt-cinq de ces années révolues, avec une approximation dont l'erreur était à peine d'un jour en 575 ans; ce qui suffisait parfaitement pour les prévoir. Et la rétrogradation des jours dans l'année solaire offrait encore plus de simplicité; car, en supposant celle-ci de $365^{j}\frac{1}{4}$, comme on le faisait sans doute alors, ils s'y trouvaient reculés d'un jour après quatre ans vagues, et d'un mois après cent vingt ans (1). Je ne sais pas si les Égyptiens avaient pressenti ces rapports quand ils adoptèrent l'année de 365 jours. Je me borne à les énoncer comme numériquement certains. Ont-ils dû les remarquer et en profiter lorsque l'usage même de l'année nouvelle les eut développés sous leurs yeux? Cela semble fort à croire; car il serait difficile d'imaginer qu'une caste sacerdotale, dont la liturgie était liée aux phases solaires et lunaires, n'aurait pas aperçu des relations qui se manifestaient avec tant de simplicité. La succession des lunes même était si évidente, que Ptolémée a distribué ses tables de conjonctions moyennes par périodes de 25 années vagues, exclusivement à toutes autres, afin de

---

(1) L'année vague de 365 jours offrait un rapport bien simple et bien plus exact avec l'année solaire vraie de ces anciennes époques; car le retard des phases solaires y était juste d'un quart de lunaison après trente ans vagues, ou d'une lunaison entière après cent vingt ans; et ce rapport si simple aurait dû être aisément saisi par des observations qui auraient été suivies continûment pendant quelques siècles. Cette relation est établie dans mes recherches sur l'année vague égyptienne, *Mémoires de l'Académie des sciences*, tom. XIII, pag. 676.

les y adapter. Quoi qu'il en puisse être, après avoir rapporté cette apologie religieuse de l'année égyptienne, Géminus, quoique postérieur à Hipparque, calcule la durée de sa révolution dans l'année solaire, d'après le rapport simple, mais inexact, que je viens de signaler. Car, supposant encore celle-ci de $365^{j}\frac{1}{4}$ juste, il trouve de même qu'après quatre de ces années révolues, les phases solaires retardent d'un jour entier sur leur date égyptienne primitive; conséquemment qu'après 365 fois 4, ou 1460 années pareilles, leur retard forme 365 jours, ou une année vague entière; ce qui, selon lui, ramène chaque phase solaire au même jour égyptien avec lequel elle avait primitivement coïncidé. Or, en établissant ce calcul sur la véritable valeur de l'année solaire à ces époques anciennes, on trouve, pour la durée exacte de cette période, non pas le nombre 1460, mais le nombre 1505; ce qui donne sur le retour réel des mêmes phases une erreur de 45 ans, laquelle aurait difficilement échappé aux plus simples observations, si elles avaient été suivies continûment pendant une de ces révolutions entières. Censorin arrive au même résultat que Géminus, en raisonnant sur les mêmes éléments que lui. Mais on peut s'étonner que Fréret, dans son ouvrage contre la chronologie de Newton, ait dit comme eux, par inadvertance, que la période de 1460 ans juliens ramène l'année vague de 365 jours au même point de l'écliptique, lui habituellement si exact, et qui pouvait si aisément s'assurer que cela n'était pas (1).

---

(1) Fréret, *Défense de la chronologie, etc.;* nouvelles observations, pag. 393, Paris, 1758; in-4°.

La période de 1505 ans solaires, qui exprime la véritable révolution de l'année vague égyptienne dans l'année solaire vraie, n'a été mentionnée par aucun écrivain ancien. Mais celle de 1460 années de $365^{j}\frac{1}{4}$, qu'ils lui substituaient à tort, est appliquée aussi par eux à un autre phénomène céleste avec lequel elle avait un rapport exact. C'était le lever héliaque de Sirius en Égypte, dans les anciens temps.

Pour comprendre les indications usuelles qu'on a pu tirer de ce phénomène, et apprécier le degré d'exactitude qu'elles ont pu avoir, il faut d'abord s'en former une idée précise. Lorsqu'une étoile se trouve le matin à l'horizon oriental en même temps que le soleil, elle n'est pas perceptible à la vue simple. Mais le soleil, en vertu de son mouvement propre, s'avançant vers l'orient d'environ un degré par jour, tandis que l'étoile reste fixe, elle se dégage peu à peu de ses rayons, se lève de plus en plus avant lui; et si elle est une des brillantes du ciel, après dix ou douze jours on l'aperçoit le matin à l'horizon dans la lueur de l'aurore, du moins sous les climats comme la Grèce, l'Italie et l'Égypte, où le pôle n'est pas très-élevé. Cette première apparition s'appelle *le lever héliaque*. Ce n'est pas un phénomène dont on puisse déterminer, par observation, l'époque précise, comme celle d'une éclipse. On ne peut espérer de la saisir qu'à quelques jours près. Elle varie, dans un même lieu, selon l'état de transparence de l'atmosphère, et selon le degré d'acuité d'une vue plus ou moins perçante. Ainsi, pour l'œil armé d'une lunette astronomique, il n'y a plus de lever héliaque, parce que les étoiles se voient à l'aide d'un pareil instrument, même quand le soleil se trouve avec elles à l'horizon. Malgré ce caractère d'incertitude, les levers héliaques des étoiles

les plus brillantes ont été, à défaut d'autre science, les premiers éléments des anciens calendriers grecs et romains. On les y annonçait, sans doute d'après l'expérience habituelle, en correspondance avec les époques solaires qui les ramenaient annuellement sur l'horizon du lieu auquel le calendrier était destiné, et on les accompagnait de pronostics météorologiques semblables à ceux de nos almanachs populaires. Cela suffisait aux prévisions des agriculteurs, et même aux spéculations des astrologues, dans lesquelles toute l'antiquité avait une croyance universelle. Sous ces deux rapports, le lever héliaque de Sirius, la plus brillante étoile du ciel, ne put manquer d'être fort remarqué, surtout en Égypte, où depuis l'antiquité la plus reculée il se trouva concorder avec des phases de plus en plus tardives de la crue du Nil. Aussi, cette étoile est-elle fréquemment signalée en relation avec le fleuve, dans les traditions comme sur les monuments. Les Égyptiens en avaient fait un des attributs de leur déesse Isis, l'emblème de la fécondité; et, dans son association à l'astre qui lui était consacré, cette divinité avait une application religieuse ou astrologique au premier mois de leur année. Car on la voit figurée ainsi sous le nom d'*Isis Thot*, avec l'étoile pour déterminatif, sur des monuments très-anciens.

Lorsque l'on connut la trigonométrie sphérique, c'est-à-dire après Hipparque, on trouva, non sans raison, préférable de calculer directement l'époque annuelle du phénomène pour chaque étoile, d'après sa position absolue sur la sphère céleste, relativement aux points équinoxiaux et solsticiaux, combinée avec la latitude du lieu d'observation. Mais il fallut encore ajouter à ces données une évaluation hypothétique, celle de l'abaissement du soleil sous l'horizon orien-

tal, au moment où l'étoile considérée commence à devenir perceptible pour une vue moyenne; et cette limite est différente, selon l'éclat des étoiles observées. Ptolémée a exposé dans l'Almageste la solution théorique de ce problème, qui, très-vraisemblablement, avait dû être déjà donnée par Hipparque dans son traité *Des levers simultanés*, aujourd'hui perdu. Il en fit plus tard une application détaillée aux étoiles les plus brillantes du ciel, dans son traité *Des apparitions des fixes;* et l'on déduit de ses résultats, qu'il adopte pour les levers de Sirius une dépression du soleil d'environ 11°, comme l'a fort bien prouvé M. Ideler. Dans cet ouvrage, Ptolémée donne les époques annuelles des levers héliaques pour différents parallèles géographiques; et il ne dissimule pas tout ce que ces phénomènes ont inévitablement d'incertain, chose qu'il assure avoir reconnue lui-même par sa propre expérience (1). Aucun astronome ne le démentira; et, sans avoir la pratique de l'astronomie, on peut aisément constater ce fait, en essayant de saisir de pareilles apparitions, même dans les climats où le ciel est le plus habituellement serein. Ptolémée en exprime les époques en dates alexandrines intercalées, parce que, dit-il, *dans cette forme de calendrier, les levers héliaques des mêmes étoiles reviennent pendant longtemps* (ἐπὶ πολὺν χρόνον) *aux jours de même dénomination.* La remarque est juste. Mais on peut s'étonner qu'il n'en ait pas fait une autre qui en semble bien voisine. C'est que, par une combinaison singulière des éléments de position propres à Sirius, depuis plus de 3000 ans avant l'ère chrétienne jusqu'à plusieurs

---

(1) *Syntaxe mathématique*, lib. VIII, cap. VI, ad finem.

siècles après cette ère, l'intervalle de temps compris entre deux levers héliaques consécutifs de cette étoile, sur tous les parallèles de l'Égypte, étant calculé par les hypothèses précédentes, se trouve presque rigoureusement égal à $365^{j}\frac{1}{4}$; de sorte que la persistance de son lever héliaque à un même jour julien ou alexandrin fixe, qui n'est qu'approximative pour les autres étoiles, a été tout à fait exacte pour elle, sous ce climat, dans la longue étendue de temps que je viens de spécifier. Ptolémée aurait pu établir ce résultat par un calcul direct, comme nous le faisons aujourd'hui ; et, ce qui paraîtra surprenant, il l'aurait trouvé presque aussi juste que nous-mêmes, malgré l'imperfection des éléments astronomiques dont il faisait usage. Car, à la vérité, il supposait l'année solaire trop longue, conséquemment la marche du soleil trop lente. Mais aussi il faisait la précession de l'étoile trop faible. Or, ces deux causes d'erreur influent en sens contraire sur les anciennes époques des levers héliaques de Sirius ; et elles s'y affaiblissent mutuellement par leur opposition, à tel point que s'il avait déterminé l'époque absolue du phénomène pour quatorze ou quinze siècles en arrière de lui, sous le parallèle de Memphis, il l'aurait trouvée anticipant seulement de quatre jours sur la période de $365^{j}\frac{1}{4}$, à une si grande distance de temps, ce qui aurait à peine excédé les incertitudes possibles de l'observation extrême. Je m'en suis assuré en faisant ce calcul pour lui, avec ses propres tables, et je le rapporte ici en note (1). Si donc il existait alors une ancienne tradition égyptienne qui appliquât spécia-

---

(1) On en trouvera le détail à la fin du mémoire, dans la note première.

lement aux levers héliaques de Sirius l'intervalle exact de $365^{j}\frac{1}{4}$, ce qui est à peu près indubitable, il faut qu'il l'ait ignorée, ou qu'il ne l'ait pas crue assez sûre pour s'y confier. Car s'il l'avait fait, et surtout s'il avait su ou voulu croire qu'un ancien lever héliaque de Sirius, observé à Memphis, aurait été fixé ainsi à une date précise, rattachée par une suite continue de 1461 ans vagues à la deuxième année d'Antonin, comme Théon semble l'admettre deux siècles plus tard, dans un fragment que je discuterai, il y aurait trouvé une confirmation de ses théories, qui, sans doute, lui aurait paru trop décisive pour la passer sous silence. Quoi qu'il en soit, nous voyons postérieurement cette tradition, non-seulement rapportée et acceptée comme égyptienne, mais même appliquée conformément à l'évaluation numérique qu'elle suppose. Elle paraît ainsi, pour la première fois, dans des écrivains du troisième siècle. Admettant, comme une vérité de fait, que le lever héliaque de Sirius, en Égypte, a toujours eu pour période annuelle $365^{j}\frac{1}{4}$, ils lui appliquent le même calcul de rétrogradation que l'on adaptait alors inexactement à l'année solaire, et que j'ai tout à l'heure expliqué. Ils en infèrent, avec raison, que ce phénomène parcourt toutes les phases de l'année vague en 1461 années pareilles, chacune de 365 jours. Ils présentent cette révolution comme une grande année à la fois *solaire* et *caniculaire*, propre à l'Égypte (1). Ils l'appellent aussi *sothiaque* (2), Σῶθις étant l'équivalent grec du nom donné à Sirius chez les Égyp-

(1) Censorin, *De die natali*, cap. XVIII et XXI, ad finem.

(2) Clément d'Alexandrie, *Stromates*, lib. I, pag. 401.

tiens(1). Enfin, pour en compléter la définition, ils lui assignent, comme limites terminales, les époques auxquelles le lever héliaque de cette étoile, en Égypte, se trouvait coïncider avec le premier jour du mois thot, dans l'année vague de 365 jours (2). Par abréviation, j'appellerai ces jours de coïncidence des *thots héliaques*. Il importe de remarquer que la condition déterminatrice qu'on en donnait ainsi, est insuffisante pour fixer leurs époques absolues. Il aurait fallu, en outre, définir le parallèle terrestre auquel on entendait appliquer la période; car la diversité de dates chronologiques qui résulte de cette circonstance n'est pas petite, même pour l'étendue de l'Égypte, puisqu'elle y produit une différence de six jours sur la réalisation astronomique du phénomène dans une même année de 365^j. De sorte que si le thot se trouvait physiquement héliaque, à une certaine époque, pour la basse Égypte, quand l'année de 365 jours était en usage, il ne devenait tel à Syène que vingt-quatre ans plus tard (3). Mais les écrivains qui ont mentionné le cycle so-

(1) Horapollo, *Hieroglyphica*, lib. I, § 3.

(2) Censorin, loco citato.

(3) Ceci résulte des calculs mêmes de Ptolémée. Dans son traité *De l'apparition des fixes* (éd. de M. Ideler, Mémoires de Berlin, 1816), il marque le lever héliaque de Sirius au 22 épiphi fixe, 16 juillet julien, sous le parallèle de Syène, latitude 23° 51'; et au 28 épiphi fixe, 22 juillet, sous le parallèle de la basse Égypte, latitude 30° 22', un peu au sud d'Alexandrie. D'après cela, supposez le lever héliaque de Sirius ayant lieu le 1er jour de thot vague, sous ce dernier parallèle; il aura eu lieu à Syène six jours auparavant, c'est-à-dire, le 30 mésori vague de l'année précédente. Donc, puisque sa date vague retarde d'un jour en quatre ans pour un même parallèle, il s'écoulera vingt-quatre ans jusqu'à ce qu'il s'opère à Syène le 1er jour de thot qui suit.

thiaque n'y ont pas ajouté cette spécification, qui serait cependant indispensable pour toute application chronographique ou religieuse qu'on en voudrait faire. Ainsi nous sommes obligés de chercher des indices d'une désignation plus précise dans les dates absolues qu'ils ont assignées aux limites de ses évolutions.

Le plus ancien auteur qui en parle est Censorin, dans les chapitres XVIII et XXI de son livre *De die natali*, lequel, comme il nous l'apprend lui-même, a été écrit dans l'année 986e de l'ère de Nabonassar, année dont le premier thot a coïncidé, ainsi qu'il le dit, avec le huitième jour avant les calendes de juillet, ou le 25 juin julien (1). Il énonce encore cette même date en années juliennes et en années d'olympiades, dont Petau a montré l'exacte concordance avec la désignation précédente, de sorte qu'il n'y a aucun doute sur ce point (2). Censorin dit ensuite que cette année 986 est la 100e du grand cycle caniculaire égyptien, ce qui en reporte l'origine ou le renouvellement à l'année de Nabonassar 886 ou 887, selon que l'on veut interpréter cette rétrogradation comme devant exprimer des années accomplies ou commencées. La différence n'est d'aucune importance pour la fixation d'un phénomène aussi vague. La seule particularité essentielle à remarquer, c'est que, d'après les tables de concordance, le premier jour du thot vague de ces deux années-là a coïncidé avec le 20 juillet julien. J'adopterai, avec Bain-

(1) Censorin, cap. XXI, ad finem.

(2) Petau, *Rationarium temporum*, pars secunda, pag. 201; Parisiis, 1652, éd. in-18.

brigde et Dodwell, l'année 886. Cela met le thot héliaque de Censorin au 20 juillet 138 de notre ère, par conséquent les thots héliaques antérieurs, à des époques séparées de celle-là par des intervalles constants comprenant 1460 années juliennes complètes; ce qui les reporte au même 20 juillet des années — 1323, — 2783, dates chronologiques, si le cycle doit être étendu jusque-là dans ses applications. Censorin ne pose pas cette alternative. Il ne mentionne que la durée de la période, sa spécialité pour l'Égypte, et le fait de son dernier accomplissement. Il ne désigne pas non plus le parallèle de l'Égypte, pour lequel on l'a établie. Les dates fixes auxquelles il la limite n'auraient pu cependant avoir d'application effective que pour ce parallèle unique. Il faut donc le chercher d'après ces dates. J'ai fait ce calcul, comme on pouvait le faire alors, avec les éléments astronomiques et géographiques adoptés par Ptolémée, en me servant de ses tables du soleil. J'ai trouvé ainsi que, selon ses données, Sirius avait dû se lever héliaquement sur l'horizon de Memphis le premier jour du mois thot, en l'an 886 de Nabonassar; l'arc d'abaissement du soleil étant alors de 10° 34′, ce qui tombe dans les limites de grandeur que Ptolémée adopte pour condition de visibilité du phénomène. Ainsi, l'énoncé de Censorin s'applique spécialement à ce parallèle, non à un autre (1). On arriverait à la même conséquence par nos tables modernes, comme l'ont prouvé plusieurs érudits versés dans les calculs astronomiques. Mais l'emploi des méthodes qui étaient connues à l'époque où ce résultat dut être

---

(1) Voyez à la fin du mémoire la note première, où ce calcul est exposé.

appliqué, a l'avantage de montrer comment on aurait pu alors l'obtenir théoriquement à la même date que Censorin lui assigne, et avec une spécification de localité qu'il a omise.

Or, il se découvre ici une circonstance chronologique qui semblerait contredire le soupçon émis plus haut, que les limites du cycle auraient pu avoir été ajustées pour s'adapter à l'avénement d'Antonin. En effet, la première année de cet empereur, selon le canon des rois, est la 885e de Nabonassar, et non pas la 886e. Pourquoi donc aurait-on fixé l'origine ou le renouvellement de la période à cette deuxième année plutôt qu'à la première même, si l'on voulait présenter cette coïncidence comme un auspice favorable du nouveau règne? L'application à cette première année aurait été également facile et justifiable; car, par le même calcul théorique, comme par le fait, le thot vague aurait été encore physiquement héliaque à Memphis cette 885e année, et même dans la précédente, aussi bien que dans la 886e et la 887e, puisqu'il reste numériquement tel dans toute une période quadriennale. Mais le choix s'explique par les règles de chronographie égyptienne, suivant lesquelles le canon est établi. D'après le témoignage de l'histoire, Hadrien, le prédécesseur d'Antonin Ier, est mort le VI des ides de juillet, c'est-à-dire, le 10 juillet de l'année 138 de notre ère (1). L'année égyptienne courante était alors la 885e de Nabonassar; et elle finissait le 19 juillet suivant. Hadrien n'ayant pas terminé cette année, on dut, selon l'usage égyptien, l'attribuer tout entière à son

(1) Petau, *Rationarium temporum*, pars prima, pag. 219; éd. 1652.

successeur. Elle fut donc comptée, dans le canon, comme la première d'Antonin, quoiqu'il n'en eût réellement occupé, à titre d'empereur, que les neuf derniers jours. Mais cette rétrocession conventionnelle et chronographique ne marquait pas l'époque réelle du commencement de son gouvernement, et de la rénovation des temps qu'on en espérait, ou dont on voulait le flatter. Il convenait donc beaucoup mieux d'adapter cet auspice à son commencement réel, c'est-à-dire à l'année 886, la deuxième que le canon lui attribuait. Et l'on aurait pu encore l'adapter au thot de la suivante, la 887e de Nabonassar, si les prêtres avaient eu besoin de ce délai pour inventer l'application, ou pour faire un calcul aussi simple. Car, d'imaginer qu'on aurait fixé ce thot héliaque à Memphis par l'observation, avec tant d'à-propos, et tant de conformité aux hypothèses théoriques alors admises, quand on pouvait le déterminer si aisément par un calcul direct, cela ne viendra à l'esprit d'aucune personne qui connaîtra la difficulté de saisir à la vue une pareille concordance, et d'en assigner ainsi l'époque, à plusieurs années près.

Un passage des Stromates de Clément d'Alexandrie restreint clairement l'emploi, même la conception du cycle sothiaque, à la plus prochaine de ses évolutions antécédentes que nous venons d'établir numériquement tout à l'heure. Il y est dit que l'Exode est antérieur de 245 ans à la période sothiaque (1). Or, en rassemblant les intervalles chronologiques employés par cet auteur, ce qui n'exige pas qu'on en justifie la validité, Bainbrigde prouve que l'origine ainsi désignée

(1) Clément d'Alexandrie, *Stromates*, lib. 1, pag. 401.

concourt avec l'an 1323 avant l'ère chrétienne (1). Une fois reconnu que Clément parle du même système de cycle que Censorin, la restriction n'offre pas de doute. Il ne pouvait pas vouloir placer l'Exode 245 ans avant l'année — 2783.

Cette limitation est confirmée par un fragment du second Théon, qui la spécifie plus décidément encore, en y ajoutant une indication d'origine extrêmement curieuse (2). Théon veut donner une règle numérique pour trouver la date du lever héliaque de Sirius, sous le parallèle d'Alexandrie, dans une année égyptienne quelconque, antérieure ou postérieure à la fixation du thot. Afin d'embrasser ces deux cas dans une même période de dérivation continue, il part d'une époque ancienne, qu'il appelle l'*ère de Ménophrès*, à laquelle le lever héliaque de l'étoile aurait coïncidé avec le premier jour du thot vague. Il ne dit pas sous quel parallèle de l'Égypte cette concordance s'est opérée. Il en donne seulement la date absolue, que je rapporterai tout à l'heure. Alors, retardant le phénomène d'un jour pour quatre années vagues révolues, il l'amène, après quatre ans, au 2 de thot, après huit ans au 3, et ainsi progressivement, jusqu'à la tétraétéride qui atteint ou comprend l'année désignée. C'est, comme on voit, un calcul très-simple de rétrogradation quadriennale. Mais l'auteur grec le complique par des détails additionnels

(1) Bainbrigde, *Canicularia*, pag. 36.

(2) J'ai publié le texte de ce fragment, avec une traduction faite par M. Hase, dans mes *Recherches sur plusieurs points de l'astronomie égyptienne*, Paris, 1823, pag. 303. Je reproduis ces deux documents dans la note 2 qui fait suite à ce mémoire, et je les discute de nouveau plus exactement que dans cette première publication.

que je passe sous silence, les expliquant dans une note, à la suite de mon mémoire, mieux que je ne l'avais fait antérieurement. Il me suffira de dire que ces additions ont pour but de faciliter la répartition des jours de retard dans l'année vague, et de transporter le résultat au parallèle d'Alexandrie, en l'y faisant concorder avec les indications de Ptolémée. Ici, ce qui nous importe, c'est de connaître l'époque qu'il assigne à cet ancien thot héliaque. Or, il dit que de là, jusqu'à la fin de l'ère d'Auguste, il s'est écoulé 1605 ans, qu'il faut considérer comme vagues, et non pas comme alexandrines, ainsi que Larcher et moi-même l'avions autrefois supposé (1). Car, par un examen attentif de son calcul, on voit qu'il les combine par différence avec celles du canon des rois, qui sont toutes vagues. Reportant donc cet intervalle dans la période julienne, en arrière du thot vague où finit l'ère d'Auguste, on trouve, comme je le montre ici en note, que le thot héliaque de son Ménophrès coïncide avec le 19 juillet de l'année julienne, 1321 avant notre ère, date chronologique (2).

---

(1) Larcher, *Traduction d'Hérodote*, tom. II, 1802, pag. 556 et suivantes. — *Recherches sur plusieurs points de l'astronomie égyptienne* (*loco citato*). — *Recherches sur l'année vague égyptienne;* Mémoires de l'Académie des sciences, tom. XIII, pag. 567.

(2) Pour établir cette concordance, je décompose les 1605 années vagues de l'intervalle total en 1461+144; et je remarque que 1461 années pareilles équivalent à 1460 années juliennes de $365^{j}\frac{1}{4}$; somme qui, étant ajoutée à une date julienne, ou en étant retranchée, ne change pas la dénomination du jour julien, parce qu'elle contient un nombre entier de tétraétérides complètes, qui est 365. Cela posé, je procède comme il suit:

L'ère d'Auguste finit à midi du 1er jour du thot de l'année de Nabo-

Cette année commence une période quadriennale de rétrogradation du thot, selon nos tables de concordance. Ainsi, dans toute la tétraétéride précédente il saute au 20 juillet, où le portent aussi les additions ultérieures de Théon. Cette date fixe est donc, comme celle de Censorin, propre au parallèle de Memphis.

Il n'est pas inutile de remarquer que, dans cette computation numérique, Théon opère précisément comme il le fait au commencement de ses tables manuelles, quand il veut transporter une date alexandrine fixe dans l'année égyptienne vague. Il prend alors, pour origine, une époque où le thot vague a coïncidé avec le thot fixe ; ce qu'il dit avoir eu lieu à la 5e année d'Auguste, la 724e de Nabonassar; puis il calcule, par tétraétérides, les nombres de jours dont ces deux thots se sont progressivement séparés. De même ici, pour

---

nassar.	1032e
Retranchez 144 années vagues révolues.	144
Vous aurez: Époque postérieure de 1461 années vagues ou de 1460 juliennes, au thot de Ménophrès : de Nabonassar, la. . .	888e

D'après les tables de concordance, le 1er thot de cette 888e année coïncide avec le 19 juillet de l'année 140 de notre ère, laquelle est identique

avec la.	4853e
de la période julienne de Scaliger, = 4713 + 140. Otez de ce nombre 1460 années juliennes, équivalentes à 1461 vagues. . . .	1460
ce qui ne change pas le jour julien; vous aurez le thot de Ménophrès dans la période julienne, 19 juillet, année.	3393e

L'année antérieure à l'ère chrétienne, correspondante à celle-là, est la 4714e — 3393e ou 1321e, date chronologique avec la même date de jour, 19 juillet.

le lever héliaque de Sirius, il se donne une coïncidence avec le thot vague, antérieure à toutes les époques auxquelles il veut transporter le phénomène, et il évalue son déplacement progressif par le même procédé. L'emploi d'une telle coïncidence pourrait donc n'être qu'un artifice arithmétique ; ou bien encore, si l'application politique du cycle sothiaque avait été imaginée à une époque tardive comme celle d'Antonin, on aurait pu, tout aussi aisément, déduire cette ancienne origine des déterminations d'Hipparque ou de Ptolémée, en remontant vers elle par un calcul inverse. Le nom de *Ménophrès*, que Théon lui donne, n'est pas un garant certain de vétusté, car on aurait pu l'y attacher à l'époque de son application, pour la rendre plus respectable. Aucun roi égyptien n'est connu sous cette désignation, qui semblerait plutôt générale qu'individuelle, et plutôt fictive qu'historique. Larcher a voulu l'attribuer à Sésostris, à cause de la grande célébrité de ce conquérant; mais l'époque de son règne est sans doute fort antérieure à — 1323 ; et si l'on y avait attaché une ère historique, dont la mémoire se serait transmise aussi longtemps par dates continues, comment ne la trouverait-on mentionnée qu'une seule fois, tardivement, dans une règle de calcul d'un mathématicien? J'oserai suggérer, non sans hésitation, que ce mot *Ménophrès* pourrait bien ici désigner tout autre chose qu'un homme; car c'est précisément l'équivalent grec du mot MANNOFRÉ, en hiéroglyphes, qui était le nom phonétique de la ville de Memphis, à laquelle les dates fixes des 19 et 20 juillet reportent le parallèle d'établissement de la période. On peut constater cette identité sur les divers exemples du nom de

Memphis, exprimé en écriture sacerdotale, que Champollion rapporte d'après les monuments, dans sa Grammaire égyptienne, page 153, et dans son Dictionnaire égyptien, page 266. Alors l'expression *ère de Ménophrès* signifierait simplement l'*ère sacrée de Memphis*, laquelle commencerait à l'époque où le lever héliaque de Sirius a coïncidé avec le premier jour de thot, sous le parallèle de cette ville, 1605 ans vagues avant la fin de l'ère d'Auguste, comme le dit Théon.

Sans insister sur l'étrangeté de cette rencontre, si l'on veut admettre l'existence du cycle sothiaque en Égypte comme ancienne institution traditionnelle, les deux derniers témoignages que je viens de rapporter, celui de Clément et de Théon, en restreignent l'emploi chronologique ou astronomique aux temps postérieurs à l'année —1323. Ils s'opposent formellement à toute hypothèse qui en reporterait l'adoption, ou même la conception, au commencement d'une période précédente remontant jusqu'à l'année — 2783, comme le veut Fréret. Je confirmerai cette conséquence par un argument aussi simple que décisif. Le cycle sothiaque de 1460 ans juliens est lié, par sa période d'évolution et par ses dates terminales, à l'année vague de 365 jours qui nous est parvenue. Il ne peut s'y prolonger en arrière qu'autant qu'elle se prolonge elle-même, sans discontinuité et sans altération. Or, cette forme d'année, telle que l'histoire et l'astronomie nous l'ont transmise, n'a pu être établie, ou définitivement constituée, qu'à l'époque de — 1780, postérieure de dix siècles à celle de — 2783. Le même cycle de thots héliaques ne peut donc pas s'appliquer avec continuité à deux énumérations de temps ainsi disjointes.

Je fonde cette assertion sur une concordance extraordi-

naire, à la fois physique et astronomique, que l'année égyptienne définitive se trouve avoir avec les positions absolues du soleil, de la lune, et avec la série annuelle des cultures de l'Égypte, en l'année julienne — 1780 (1). Cela a été un résultat, non-seulement de sa forme, c'est-à-dire du nombre de jours qu'elle renferme, mais encore des conditions d'ajustement qui ont dû lui être données alors dans les périodes solaires et lunaires, pour établir ou fixer cet accord si étrange; conditions auxquelles on remonte en suivant le fil des dates historiques et astronomiques qu'elle a servi depuis à exprimer. Cette concordance n'a d'analogie dans aucun autre calendrier, fixe ou vague; et, pour l'année égyptienne même, elle ne s'est réalisée qu'une seule fois dans la série des siècles, à l'époque précise que je viens de spécifier. Les éléments astronomiques qu'elle réunit et qu'elle met en accord avec la notation écrite du temps, ainsi qu'avec l'état physique de l'Égypte à ce moment même, sont si divers, comme si rapidement variables, qu'il serait presque impossible, même aujourd'hui, d'en former une association aussi exacte en mouvements vrais, par une prévision calculée à quelques années de distance. Mais il n'a fallu que des yeux, et une observation attentive du ciel, pour la saisir et la fixer à perpétuité dans le calendrier, par l'addition des cinq épagomènes, lorsqu'elle se fut réalisée dans l'année de 360 jours antécédente, comme cela est arrivé en l'année julienne — 1780. C'est là, comme on va le voir, le moyen le plus simple, et presque le seul supposable, par lequel on ait pu y adapter, aussi exac-

(1) *Journal des savants*, août 1843, pag. 48.

tement, l'année de 365 jours qui nous est parvenue. De sorte qu'il y a toute probabilité qu'elle a été, non pas seulement modifiée, mais établie pour la première fois, à cette époque même.

Pour sentir la force de cet argument, il faut se rappeler la notation de l'année vague égyptienne, que Champollion a si heureusement interprétée. Elle se compose de trois tétraménies, contenant chacune quatre mois de 30 jours, en somme 360, que complètent cinq épagomènes, placés à la suite des douze mois. Les signes généraux des tétraménies, et les signes particuliers des mois, correspondent à la succession annuelle et aux phases consécutives de la végétation, des récoltes, de l'inondation, telles qu'elles ont lieu en Égypte, depuis un temps immémorial. De sorte que les cinq épagomènes, placés à la suite des douze mois, sous le nom commun de *jours célestes*, semblent n'être que le complément du système de notation primitivement appliqué à l'année de 360 jours. La durée de ces deux sortes d'années étant moindre que celle d'une année solaire, elles sont toutes deux *vagues;* ce qui fait que la notation ne peut coïncider avec les phases de l'année naturelle qu'à certaines époques spéciales, dépendantes des périodes de leur évolution. Heureusement la notation des mois, qui leur est commune, permet de découvrir ces époques, en opérant le raccordement qu'elles supposent. En effet, la dernière tétraménie portant le caractère de l'inondation, elle ne peut concorder exactement et complétement avec ce phénomène solaire, que si le premier jour du mois *pâchon*, qui la commence, coïncide avec le solstice d'été, origine constante et universellement reconnue de la crue du Nil. Donc, en considérant d'abord l'année vague de 365

jours, qui est seule arrivée jusqu'à nous, avec des applications astronomiques et historiques, il suffira d'identifier avec le ciel, ou avec l'histoire, une observation ou un fait ainsi daté, pour pouvoir la reconduire, par rétrogradation, dans l'année solaire, et y distinguer les époques où elle a offert le caractère de concordance numérique, tout à l'heure signalé. Cette identification a été depuis longtemps faite par les astronomes et les chronologistes, d'après les observations de l'Almageste, qui sont rapportées en dates vagues de l'année égyptienne courante, comme Plotémée le dit expressément (1). On en conclut, avec une entière certitude, que le premier jour du mois thot, le premier des douze, a coïncidé avec le 26 février de l'année julienne antérieure à l'ère chrétienne — 747, en comptant à la manière des chronologistes. C'est l'époque que Ptolémée appelle l'*ère Nabonassar*, et qu'il a prise pour origine de tous ses calculs. Sur ce fait, on a construit des tables qui donnent la concordance des années juliennes et vagues, pour une étendue quelconque de temps. Or, nos tables astronomiques modernes sont aussi établies en dates juliennes, qui partent également de l'ère chrétienne. On peut donc y transporter un jour égyptien quelconque,

(1) On peut d'abord conclure ce fait de ses calculs mêmes, puisqu'il y emploie partout des dates historiques, exprimées ou réduites en dates égyptiennes usuelles, par la concordance du canon des rois, usité à Alexandrie. Mais il le marque expressément en beaucoup d'endroits, et en particulier à la fin du troisième livre, où il dit qu'il prend son premier jour du thot de Nabonassar, *conformément à l'usage égyptien*, κατ' Αἰγυπτίους. Il n'a fait à cet usage d'autre modification que de commencer le jour à midi, comme il le dit au même lieu.

par sa date julienne correspondante, et savoir quelle a été sa place dans l'année solaire vraie, aussi exactement que si c'était un jour de notre année actuelle. On trouve ainsi que le premier jour de pachon vague, qui ouvre la tétraménie des eaux, a coïncidé avec le solstice d'été dans les années juliennes chronologiques — 275, — 1780, — 3285 (1). Je n'ai pas jugé nécessaire de remonter plus haut. Ces dates sont séparées les unes des autres par des intervalles de 1505 ans juliens, qui expriment la véritable période d'évolution de l'année vague dans l'année solaire à ces époques anciennes, comme je l'ai précédemment annoncé.

Je m'arrêterai un moment à la coïncidence la plus proche de nous, celle de — 275, qui s'est opérée, selon ces calculs, vers la 10e année de Ptolémée Philadelphe, afin que l'on sente bien l'impression qu'une telle rencontre devait produire sur les Egyptiens quand elle arrivait. Celle-ci n'a pu manquer d'être présagée longtemps à l'avance, par l'acheminement lent, mais continu, des phénomènes naturels vers les dates figurées qui les désignaient dans la notation. Et lorsque, après un concours plus ou moins durable, cet accord vint à se désunir, ce fut de même avec une lenteur qui dut en prolonger la mémoire. Pour ap-

---

(1) *Recherches sur l'année vague égyptienne*, Mémoires de l'Académie des sciences, tom. XIII, pag. 601. Les nombres relatifs à la concordance de — 1780 ont été recalculés depuis par M. Largeteau dans les additions à la *Connaissance des temps* de 1847, page 168, en employant ses tables abrégées relatives au calcul des équinoxes et des solstices. Les dates qu'il a obtenues présentent seulement des différences d'heure absolue sur ceux que j'avais rapportés d'après Bouvard, ce qui est sans importance pour l'usage que j'ai fait de ces déterminations.

précier l'effet de ces diverses circonstances dans les applications usuelles, concevons, hypothétiquement si l'on veut, que les prêtres égyptiens, qui, au dire de Géminus, observaient *habituellement* les solstices (1), se soient alors fondés sur de pareilles déterminations pour annoncer au peuple le commencement de la crue du Nil, comme cela paraît s'être pratiqué de tout temps, et se continue encore aujourd'hui. On ne leur fera pas trop de tort en supposant qu'ils pouvaient bien se tromper de deux jours, en plus ou en moins, sur la fixation de ce phénomène, puisque les solstices de Ptolémée ne sont pas sûrs à un jour près. Or, la différence entre l'année vague de 365 jours, et l'année solaire vraie, étant à peu près d'un jour en quatre années, il en résultera un intervalle total de seize ans, pendant lequel la notation aura pu leur paraître en concordance avec les phénomènes naturels, entre les limites d'incertitude que leurs observations comportaient. Et pour le peuple, auquel un écart de cinq ou six jours, autour de la phase moyenne, pouvait à peine être sensible, l'accord devait sembler se soutenir pendant quarante ou cinquante ans au moins. C'est à cet intervalle de temps que Champollion a rapporté la construction ou l'achèvement du grand temple d'Edfou, si riche en sculptures relatives à l'astronomie religieuse, et sur lequel se trouve en particulier le tableau figuré des douze mois égyptiens.

Les deux coïncidences antérieures, celles de — 1780 et de — 3285, ont dû offrir des intervalles pareils de persistance et d'indétermination, si l'année de 365 jours était déjà établie

(1) Géminus, *Introduction aux phénomènes célestes*, cap. VI; *des mois.*

quand elles se sont opérées. Mais il en aura été tout autrement si le passage de l'année de 360 jours à celle de 365 s'est fait à l'une ou à l'autre de ces époques. Car, dans l'année de 360 jours, la notation des douze mois revenait concourir avec les solstices d'été, après des intervalles beaucoup plus restreints ; non plus de 1505 années solaires, mais alternativement de 69 et de 70. Et parce qu'elle s'y raccordait bien plus souvent, elle s'en éloignait aussi bien plus vite ; de sorte qu'en raisonnant comme je l'ai fait tout à l'heure, des observations même très-grossières suffisaient pour qu'on pût à peine se tromper d'une seule année usuelle dans l'appréciation de sa concordance moyenne avec le ciel. Il est fort présumable que l'adjonction des épagomènes dut être faite à une de ces époques de coïncidences primitives, dans l'intention de rendre la notation plus longtemps, ou peut-être pour toujours, concordante avec l'état naturel de l'Égypte, qu'elle était destinée à représenter et à sanctifier. Car cette adjonction, effectuée à toute autre époque intermédiaire, aurait produit, dans la période d'application physique et religieuse du calendrier, une perturbation brusque sans motif, et un prolongement de discordance auquel on ne saurait apercevoir de but intentionnel; au lieu qu'étant ajoutés à la fin d'une année de 365 jours, en coïncidence solaire, les épagomènes ne faisaient que continuer cet accord, et rendre durable sa relation graphique avec les phénomènes naturels, sans jeter aucun trouble ni faire aucun changement dans les applications des personnages divins qui présidaient aux jours déjà écoulés. Nous verrons tout à l'heure ce soupçon confirmé par une autre indication astronomique bien plus minutieusement précise. Mais je me borne, pour le moment, à suivre celle-ci. Sa

conséquence nécessaire, c'est que l'année définitive de 365 jours, dérivée de cette origine, devra s'y retrouver elle-même en coïncidence solaire avec son premier jour de pâchon solsticial, lorsque nous la ferons rétrograder dans la série des temps, telle qu'elle nous est arrivée; et comme nous ne pouvons pas l'arrêter aux règnes des Ptolémées, il faudra reporter son établissement à la coïncidence de — 1780 ou à celle de — 3285, si nous renonçons aux périodes plus distantes.

La plus ancienne de ces époques, celle de —3285, présente une particularité astronomique extrêmement remarquable. Le jour du solstice d'été s'y trouve être précisément un 20 juillet julien. C'était aussi la date fixe du lever héliaque de Sirius pour le centre de l'Égypte, dans ces anciens temps (1). Donc, le premier jour du mois pâchon et de la tétraménie des eaux, qui coïncidait avec ce solstice, concourut également alors avec le lever héliaque de Sirius, dans l'année de 365 jours prolongée numériquement jusque-là. Voilà sans doute un accord bien frappant avec l'ancienne tradition, qui, dans tous les temps postérieurs, faisait considérer cet astre comme le signe précurseur de la crue du Nil, le principe excitateur du débordement, et l'attribut de la déesse de la Fécondité. Car cette tradition, fixée dans les emblèmes religieux et dans les croyances populaires, continua d'être admise bien des siècles après qu'elle n'avait plus d'application réelle, puisque, au temps du scoliaste d'Aratus, qui la mentionne encore, Sirius se levait héliaquement, pour le centre de l'Égypte,

(1) *Recherches sur l'année vague des Égyptiens.* Mémoires de l'Académie des sciences, tom. XIII, pag. 602.

27 jours *après* le solstice d'été. De sorte que son apparition accompagnait alors des phases déjà considérables de la crue du Nil, et n'en était plus le présage. Toutefois cette antique concordance, quoiqu'elle atteste la fidélité de la tradition, n'est pas un indice suffisant pour reporter l'adjonction des épagomènes jusqu'à l'époque de —3285, préférablement à celle de —1780. Car si on les place à cette dernière, et qu'on fasse remonter de là jusqu'à —3285 l'année de 360 jours, on la trouve aussi vers ce même temps en coïncidence solsticiale avec le lever héliaque de Sirius, sinon rigoureusement, du moins avec une différence trop petite pour qu'on pût alors l'apprécier. D'où il suit que l'ancienne tradition a pu s'appliquer à l'une de ces formes d'années comme à l'autre, sans qu'on puisse aujourd'hui décider l'alternative.

J'en étais resté à cette incertitude, il y a treize ans, lorsque je publiai mon Mémoire sur l'année vague égyptienne, aussitôt après que Champollion eut découvert, et m'eut communiqué, le sens de la notation qui la représente. J'avais bien senti dès lors l'utilité qu'il y aurait à examiner les rapports de cette année avec la lune, aux deux époques de coïncidence solaire ci-dessus désignées. Car, d'après une ancienne tradition rapportée par Plutarque (et, pour une recherche pareille, les traditions sont des guides qu'il ne faut pas dédaigner), l'adjonction des épagomènes n'aurait pas été sans relation intentionnelle avec les mouvements lunaires. De sorte que l'époque où elle fut faite devait se découvrir par ces relations mêmes, si elles présentaient des particularités assez précises pour ne pouvoir résulter que d'un arrangement systématique. Mais l'emploi des tables lunaires modernes est si pénible, et leur application à toutes les phases de ces an-

ciennes années aurait été si fatigante, que je ne pus me résoudre au long travail que cette épreuve, peut-être inutile, aurait exigé. Heureusement, ces difficultés devinrent beaucoup moindres lorsque M. Largeteau eut publié, il y a environ un an, des tables lunaires abrégées, où cependant les inégalités les plus influentes sont toutes comprises; de sorte qu'avec leur secours on détermine, par un court calcul, les époques des phases à quelques minutes de temps près, ce qui suffit amplement pour les computations chronologiques, et encore plus pour l'épreuve que je voulais effectuer. Je me suis donc empressé de les appliquer à l'année égyptienne de 365 jours, considérée dans sa coïncidence solaire de — 1780; et ses rapports avec les positions absolues de la lune s'y sont montrés tellement spéciaux et précis, qu'ils n'ont pu résulter que d'un arrangement établi exprès à cette époque même. On va aisément en juger (1).

Tout le monde sait que l'année lunaire, composée de douze lunaisons moyennes, contient un nombre de jours très-peu différent de $354^j,36$. Conséquemment, si l'on chargeait un astronome de l'encadrer le plus régulièrement possible dans une année de 365 jours, il devrait l'y placer de manière que la première lune nouvelle suive le premier jour de l'année, à peu près au même intervalle dont la treizième lune nouvelle précède le 365e jour. Car, par cette disposition, toutes les nouvelles lunes de l'année se rapprocheront, autant que possible, du commencement des mois, et les pleines lunes de leurs milieux. Elles sont en effet arrangées ainsi dans l'an-

---

(1) Les calculs de concordance sur lesquels je vais m'appuyer sont exposés en détail dans le *Journal des Savants*, cahier d'août 1843.

née égyptienne correspondante à —1780. Mais leur distribution y est en outre assujettie à une autre particularité bien plus manifestement intentionnelle, parce qu'elle rattache, pour cette année-là, les positions absolues de la lune à celles du soleil, dans la phase la plus importante, la plus spéciale, du calendrier égyptien. En effet, on doit se rappeler que, d'après un synchronisme mathématiquement établi, l'année vague se trouvait alors en coïncidence solaire; de sorte que le premier jour du mois pâchon, qui ouvre la tétraménie des eaux, concourait avec le solstice d'été, origine périodique de la crue du Nil. Or, c'est précisément autour de ce mois, de ce jour, que l'année lunaire est répartie, et l'on pourrait dire équilibrée. Ainsi, à ce même mois, pâchon, à celui-là seul, la nouvelle lune, visible sur l'horizon de Thèbes, coïncide avec le premier jour du mois, et s'y montre solsticiale comme le soleil. C'est également à celui-là que la pleine lune tombe juste au milieu du mois. Enfin, par une combinaison singulière, unique, des valeurs qu'eurent alors les mouvements vrais, la nouvelle lune suivante arrive précisément à son trentième jour; d'où l'on voit que toutes les phases lunaires de l'année se trouvent symétriquement distribuées et balancées autour de lui. Ce ne sont pas là des résultats d'interprétation qu'on est libre d'accueillir ou de rejeter; ce sont des faits réels, fondés sur des déductions numériques auxquelles on ne peut se soustraire. L'arrangement qu'elles décèlent est matériellement reproduit dans le calendrier égyptien qui nous est parvenu; il est essentiellement lié à sa marche absolue, et il n'y est réalisé avec cette justesse qu'à cette seule époque dans la série des siècles, quelque loin que l'on veuille prolonger numériquement l'année de 365 jours,

Il ne reste plus qu'à voir comment on a pu le saisir. Car si l'on se représente bien l'irrégularité des mouvements vrais de la lune, et la rapidité de leurs discordances avec ceux du soleil, on sentira qu'il ne fallait pas manquer d'une seule année l'époque où un tel concours s'opérait entre eux. Nos tables modernes elles-mêmes auraient été à peine assez précises pour le faire prévoir à quelques années de distance, et pour préparer un projet de calendrier vague qui s'y adaptât si bien, avec tant d'appropriation aux convenances religieuses et aux circonstances de localité. Mais il a suffi d'avoir des yeux, et de suivre avec une attention continue les mouvements des deux astres, pour saisir cet arrangement merveilleux, quand il s'est spontanément réalisé dans l'année de 360 jours immédiatement antérieure à l'addition des épagomènes. C'est donc à celle-là, à celle-là seule, qu'ils ont dû être attachés pour que l'année définitive de 365 jours qui en est résultée, étant renvoyée en arrière, nous y ramène identiquement comme elle le fait.

Il faudrait accumuler les hypothèses les plus invraisemblables, pour obtenir un pareil concours en imaginant les épagomènes introduits à toute autre époque quelconque dans cette forme d'année, prolongée continûment, soit en avant, soit en arrière. L'anticipation supposerait qu'on aurait voulu, sans motif plausible, fixer ou prolonger des discordances qui auraient miraculeusement conduit, sans qu'on pût le prévoir, à l'accord rigoureux et spécial que nous découvrons. L'adjonction effectuée plus tard n'échapperait aux mêmes difficultés, qu'en supposant une rétrogradation intentionnelle vers un état précédent du ciel, auquel on aurait voulu rattacher numériquement l'année définitive, en con-

sentant à troubler toutes les concordances religieuses et politiques précédemment réalisées. Il faudrait donc encore admettre que cet état antérieur aurait été observé et saisi avec un égal soin quand il s'accomplissait. Alors il était bien plus facile d'y rattacher le calendrier au moment même. De toutes manières, l'application contemporaine est la seule solution directe et naturelle du fait. Il est déjà, en lui-même, assez étonnant, pour ne pas le compliquer par des hypothèses additionnelles. Toute l'antiquité nous atteste que l'étude suivie et attentive du cours des astres a été une attribution spéciale des prêtres égyptiens. La marche diurne du soleil est reproduite sans cesse dans leurs tableaux religieux. L'observation de ses positions célestes leur était indispensable pour prévoir les phases annuelles du Nil; et je montrerai plus loin combien ces déterminations leur étaient faciles à obtenir sous ce climat, dans les limites d'exactitude qui suffisaient à leurs besoins. Ils ont dû aussi être attentifs aux mouvements de la lune, puisque nous voyons, dans leurs plus anciennes liturgies, des cérémonies religieuses attachées aux diverses phases de cet astre, lorsqu'elles arrivent à tel ou tel jour de tel ou tel mois. Préparés par cet ensemble d'institutions, ils ont dû, sans doute, remarquer une réunion de circonstances si frappante : la distribution parfaitement symétrique des lunes dans l'année vague de 360 jours, amenant une nouvelle lune sur l'horizon de Thèbes le jour même du solstice d'été, au premier jour de la tétraménie des eaux, et de la crue du Nil. Rien n'a été plus simple que d'ajouter les cinq épagomènes à la suite d'une année de douze mois ainsi disposée, dans la prévision facile de voir se reproduire, au moins approxima-

tivement, une semblable distribution des lunes tous les vingt-cinq ans. Mais cette occasion si favorable a été aussi tellement extraordinaire et précise, qu'on a de la peine à croire qu'elle se soit réalisée naturellement, sans avoir été favorisée par quelque mutation opérée à la même époque dans la marche ou la position absolue de l'année primitive ; comme on a altéré chez nous le calendrier julien, pour le raccorder avec les phases solaires lors de la réforme grégorienne. En tout cas, si les Égyptiens ont usé d'un pareil artifice, qui aurait été peu en harmonie avec la fixité de leurs formes religieuses, c'est encore à l'époque de — 1780 qu'on a dû l'appliquer, puisque la coïncidence astronomique qu'il réalise, et qui s'est numériquement perpétuée dans la marche de l'année définitive, ne s'y trouve que là.

Les plus anciens monuments égyptiens sur lesquels on ait jusqu'ici trouvé les épagomènes, appartiennent à la XVIIIe dynastie. Ceux des dynasties précédentes n'ont offert que la notation des douze mois. En outre, le Syncelle affirme, à tort ou à raison, que les épagomènes ont été introduits vers la fin de la XVIIe dynastie, ou au commencement de la XVIIIe. J'ai voulu savoir comment ces indications, tout incertaines qu'on doive malheureusement les supposer, se rattacheraient à la date de — 1780. Pour cela, j'ai pris, dans les chronographies du Syncelle et d'Eusèbe, les dates absolues qu'ils assignent au commencement de la XVIIIe dynastie; et j'en ai soustrait celles qu'ils donnent, l'un à Philippe Aridée, l'autre à Nabonassar, dont les distances à l'ère chrétienne sont connues astronomiquement. Je me suis ainsi débarrassé des hypothèses propres à ces chronographies. J'ai fait le même calcul d'après un tableau de Ramsès-Meiamoun, dont

j'ai interprété ailleurs la date astronomique, en ajoutant à celle-ci 348 ans pour la durée de la XVIII[e] dynastie, d'après Manéthon. Voici quels ont été les résultats de ces trois combinaisons numériques :

	Avant l'ère chrétienne.
Commencement de la XVIII[e] dynastie égyptienne, déduit du Syncelle..	1755
Commencement de la XVIII[e] dynastie égyptienne, déduit d'Eusèbe.	1722
D'après le tableau de Ramsès Meiamoun. . . .	entre 1737 et 1792

Dans le peu de certitude des documents employés, aucun de ces nombres ne répugne à l'introduction des épagomènes en — 1780. Mais cette dernière date s'adapte seule à la concordance astronomique et physique, dont l'année égyptienne définitive porte l'empreinte.

Si, par la suite, on venait à découvrir les épagomènes sur des monuments, ou dans des textes, notablement antérieurs à la XVIII[e] dynastie, il faudrait examiner si les documents historiques qu'on y pourrait rattacher seraient assez décisifs pour qu'on dût indubitablement reporter leur date au delà de 1780. Supposant que la conclusion fût telle, on devrait en inférer que l'année de 365 jours, usitée alors, aurait été remaniée en — 1780, pour l'adapter à l'ensemble de concordances que l'année définitive se trouve si extraordinairement reproduire, quand on la fait rétrograder à cette époque par le calcul. Mais aucun document, jusqu'ici connu, ne suggère la nécessité d'admettre ou même de présumer une pareille perturbation dans le calendrier égyptien, qui, étant à la fois civil et religieux, ne pouvait, une fois adopté,

recevoir de changement dans sa contexture, sans une grave atteinte portée à la continuité des rites journaliers que sa notation consacrait. Au lieu qu'une addition finale de cinq épagomènes, effectuée à une époque de coïncidence solaire, ne faisait qu'étendre et prolonger ses applications, sans les dénaturer.

En résumé : l'année égyptienne de 365 jours, qui est arrivée jusqu'à nous, ayant dû être établie ou définitivement réglée en —1780, le cycle sothiaque, qui est lié à son évolution et qui s'y rattache par ses dates terminales, ne peut pas être prolongé avec continuité au delà de cette époque. Son extension numérique doit donc être bornée au thot héliaque de —1322, conformément aux témoignages de Clément et de Théon. La critique et les nombres s'opposent ainsi également à ce qu'on lui attribue une période antérieure s'étendant jusqu'à l'an —2782, comme Fréret a voulu l'établir par des inductions historiques, dans son ouvrage contre la chronologie de Newton. Ce résultat confirme les inductions philologiques par lesquelles M. Letronne avait reconnu depuis longtemps que le fragment cité par le Syncelle sous le nom de παλαιὸν χρονικὸν, où il est fait mention de cette première période du cycle caniculaire, est un écrit apocryphe du IIIe siècle ; et que la mention analogue qui se trouve dans un autre passage du Syncelle, à l'occasion du roi égyptien Concharis, est propre à cet écrivain, non à Manéthon, comme on l'avait généralement supposé (1). Ces deux citations, réduites ainsi

(1) La note que M. Letronne a bien voulu me communiquer sur ce point de critique, est imprimée dans mes *Recherches sur l'année vague égyptienne*; Mémoires de l'Académie des sciences, tom. XIII, pag. 569.

à leur véritable date, n'ont plus que la valeur d'applications rétrogrades du cycle, que nous voyons admis comme égyptien par les auteurs de cette époque tardive; et l'impossibilité de son existence, dans la période antérieure qu'ils lui supposent, achève de démentir l'antiquité des écrits où elle est employée.

Lors des premières remarques qu'il publia sur la chronologie de Newton, Fréret tirait un de ses principaux arguments de ce que ce grand géomètre aurait, à tort, *placé le commencement du cycle sothiaque à l'équinoxe vernal de l'année julienne* — 884 (1). Newton se contenta de dire que le critique français *ne l'avait pas compris*. Fréret se montra fort blessé de cette réponse, ne concevant pas, dit-il, *comment M. Newton faisait une différence entre l'existence du cycle et l'existence de l'année égyptienne, puisque celui-là suppose celle-ci* (2). La distinction était pourtant réelle, quoique cachée. En plaçant l'établissement de l'année égyptienne à l'an — 884, Newton niait implicitement l'institution du cycle sothiaque, au moins comme contemporaine de cette époque. C'était sur ce terrain que Fréret aurait dû le suivre, dans l'opinion qu'il avait de la haute antiquité de cette institution. Mais, après avoir combattu victorieusement son illustre adversaire en tant d'autres points, il continua de frapper à faux en celui-là. Tant les esprits les plus droits peuvent être aveuglés par le parti pris d'avoir raison partout et toujours!

---

(1) Fréret, *Premières observations*, pag. 23.

(2) Fréret, *Nouvelles observations*, pag. 414.

Je vais maintenant discuter cette question même, que Fréret ne paraît pas croire possible de mettre en doute : savoir, si le cycle sothiaque peut, avec quelque probabilité, être considéré comme une antique institution égyptienne ; ou s'il faut plutôt y voir l'application d'une notion ancienne, faite par les prêtres d'Égypte à l'avénement du premier Antonin. Déjà plusieurs particularités que j'ai signalées montrent combien cette application leur était facile, et elle n'était pas moins conforme aux usages de ce temps. Mais, pour en bien apprécier le degré de vraisemblable, il faut examiner comparativement les procédés par lesquels les anciens Égyptiens auraient pu déterminer expérimentalement les limites d'une telle période, de manière à les fixer avec la justesse numérique que nous leur trouvons assignée ; si ces procédés étaient à leur portée ; et enfin, quelle probabilité il y a qu'une ancienne notion, ainsi obtenue, aurait pu être transmise par dates continues jusqu'au temps de Théon. Cet examen nous donnera lieu de définir, plus exactement qu'on ne l'a fait jusqu'à ce jour, en quoi ont pu consister les connaissances astronomiques des prêtres d'Égypte, aux époques où la période sothiaque remonte numériquement. Cela ne sera pas inutile ; car la plupart des critiques qui ont traité cette question n'ayant pas la pratique de l'astronomie, il leur est souvent arrivé d'attribuer aux observateurs de ces temps reculés, comme très-faciles, des choses qu'ils n'ont pas pu faire, et de leur en refuser, comme impossibles, d'autres qui sont fort aisées. J'établirai, dans la seconde partie de ce mémoire, une délimitation plus juste entre ces deux extrêmes, en y faisant servir les seuls procédés d'observation que le simple aspect du ciel suggère, ou qu'attestent les monuments écrits et figurés.

DEUXIÈME PARTIE.

Pour bien apprécier les notions et les résultats d'astronomie que les anciens peuples ont pu obtenir par le seul secours de leurs yeux et du temps, il faut nous identifier idéalement avec eux, et nous demander ce que nous aurions pu faire avec les mêmes moyens, si nous eussions été à leur place. Mais ce transport de nous-mêmes à une autre époque, cette sorte d'oubli intelligent de nos méthodes acquises, qui laisse seulement à notre esprit sa faculté d'invention naturelle, et la connaissance intuitive des lois numériques auxquelles la simple observation doit le conduire, ce sont autant d'abstractions presque impossibles à réaliser avec justesse, si l'on n'a pas une pratique personnelle de l'astronomie : non de celle que l'on voit tout établie dans nos observatoires, avec les instruments perfectionnés de la science moderne, mais de celle qu'il faut créer, pour son propre besoin, dans des lieux où rien n'a été préparé. Les déterminations approximatives par lesquelles il faut commencer alors, vous apprennent, par expérience, les ressources que peuvent fournir les procédés les plus simples, l'état présent du ciel, et les accidents même des lieux. Vous voyez ainsi quelles sortes de résultats peuvent être obtenus primitivement, quel degré de précision l'on en peut attendre ; et pourquoi d'autres, que l'habitude résultante de notre éducation nous ferait croire bien plus accessibles,

n'ont dû être constatés, ou même soupçonnés, que beaucoup plus tard. Les personnes qui n'ont pas eu l'occasion de faire cet apprentissage pratique, sont communément exposées à deux genres d'erreurs. Le premier, c'est de ne pas sentir les conséquences qu'on a pu tirer de procédés très-simples, appliqués avec continuité et persévérance. Le second, qui est presque l'inverse de celui-là, consiste à supposer très-faciles, et aussi très-exactes, d'autres déterminations que nos théories modernes présentent sous des formes simples, mais qui ne pouvaient s'obtenir qu'avec beaucoup de difficultés et sans précision, avec le seul secours des yeux. La question que je vais traiter offre des exemples frappants de ces deux illusions. Je me bornerai à mentionner ceux qui s'y rattachent essentiellement.

Personne n'ignore aujourd'hui que la grande pyramide de Memphis a ses faces presque rigoureusement perpendiculaires aux plans du méridien et du premier vertical; de sorte que les traces horizontales de sa base se dirigent vers les points cardinaux de l'horizon. Ce fait, constaté d'abord très-approximativement par le chevalier de Chazelles (1), a été depuis rendu certain par les observations de Nouet, l'astronome de l'expédition d'Égypte (2). En relevant l'azimut de la trace est-ouest avec le cercle répétiteur, il a reconnu qu'elle décline, de l'ouest vers le sud, d'une quantité angulaire égale à 19′58″. C'est une déviation à peine différente de celle que

---

(1) *Observations du chevalier de Chazelles*, publiées par Lacaille, Mémoires de l'Académie des sciences pour 1761, pag. 140.

(2) *Décade égyptienne*, tom. III, pag. 101.

Picard a cru reconnaître dans la méridienne de Tycho-Brahé, à Uranibourg. Encore Nouet remarque-t-il qu'ayant dû faire le relèvement sur une droite auxiliaire, menée parallèlement au massif, une partie de l'écart observé pourrait bien être due à l'incertitude de cette opération. L'alignement si approché d'une si grande masse, sur les quatre points cardinaux de l'horizon, décèle déjà, avec une extrême vraisemblance, des procédés d'orientation directs; et cette conséquence est rendue à peu près indubitable, par l'identité de direction des autres pyramides élevées aux environs de celle-là; puisqu'il a dû être bien plus facile de les diriger ainsi individuellement, que de les rendre parallèles à la première par des déductions trigonométriques. Maintenant quels moyens ont pu être employés pour obtenir de tels résultats? C'est une question très-importante à résoudre; car le seul tracé d'une méridienne pareille suffit, comme on le verra tout à l'heure, pour qu'on puisse ensuite déterminer immédiatement les époques des équinoxes et des solstices, avec des erreurs qui n'excèdent pas un ou deu jours; et cette limite de précision, facile à obtenir, justifierait l'interprétation des anciens tableaux égyptiens, où l'on a cru voir l'indication de ces phénomènes. Il est donc fort essentiel d'examiner les procédés pratiques dont les Égyptiens ont pu se servir pour donner aux pyramides de Mem phis une si exacte orientation. Et pour ne pas les exagérer ni les affaiblir, il faut chercher à les conclure des indices que peuvent fournir les témoignages de l'histoire, ou les monuments eux-mêmes.

C'est une chose bien remarquable que le silence absolu de Ptolémée sur les moyens que les astronomes de son temps, des temps antérieurs, et lui-même, ont dû employer pour

tracer des méridiennes exactes. Il ne dit pas un seul mot sur cette opération fondamentale de toute l'astronomie. Quand il parle des armilles d'Alexandrie, et de ses propres instruments, il les suppose alignés sur une méridienne déjà décrite, dont il n'apprécie aucunement l'exactitude. Et les procédés qu'il explique, pour établir l'horizontalité de leur base, sont tellement grossiers, qu'on a douté, avec raison, qu'ils aient jamais pu servir à des observations réelles. Pour avoir quelque notion des méthodes alors en usage, il faut descendre jusqu'à Proclus (1). Celui-ci expose le tracé de la méridienne par les ombres égales d'un gnomon à style, élevé verticalement sur un plan horizontal, que l'on rend tel par le calage, et dont l'horizontalité se vérifie en y versant de l'eau, qui ne doit s'écouler d'aucun côté. Cette dernière épreuve est suffisamment sûre lorsque l'eau est versée dans un canal continu, creusé sur les contours d'un plan étendu et bien dressé, comme les Chinois l'ont fait au XIII[e] siècle de notre ère. Mais, telle que la décrit Proclus, elle n'a aucune précision. En outre, l'égalité des ombres d'un gnomon à style effilé est aussi une indication très-incertaine, parce que les limites de l'ombre sont toujours mal terminées; et je ne saurais croire qu'Hipparque se soit servi d'une méthode aussi fautive. Mais Ptolémée ne nous a transmis, des procédés d'Hipparque, que ceux qu'il a eu besoin de s'approprier. Il me semble également presque impossible que l'orientation si exacte des pyramides ait été obtenue par l'égalité des ombres. D'ailleurs, pour faire usage de cette égalité, il faut

---

(1) Proclus Diadochus, *Hypotyposes*, pag. 82, éd. de Halma.

préalablement savoir, et avoir constaté, que, dans un même jour, le soleil décrit exactement, ou presque exactement, un cercle symétrique autour du méridien. Or, dût-on trouver ma réserve exagérée, je ne veux pas supposer gratuitement que les Égyptiens, à l'époque de l'érection des pyramides, auraient eu déjà des notions astronomiques si rigoureuses. Mais les procédés pratiques qu'ils possédaient indubitablement alors suggèrent un mode d'opération beaucoup plus simple, et, pour le moins, aussi exact que celui-là.

Les plus anciennes inscriptions hiéroglyphiques, même celles de l'intérieur des pyramides, contiennent un caractère formé d'un triangle isocèle, à base horizontale, du milieu de laquelle s'élève un trait vertical ⊥ dans un triangle. Champollion, dans sa Grammaire égyptienne, de même que dans son Dictionnaire égyptien, le considère comme figurant un niveau d'architecte ou de maçon (1); et lorsqu'il est tracé isolément, dans une acception symbolique, il lui attribue le sens des verbes *choisir, éprouver, distinguer, être distingué.* Soit qu'on adopte ou qu'on rejette son interprétation, il serait impossible de comprendre comment, sans le secours d'un instrument pareil, ou de quelque autre équivalent, les Égyptiens auraient pu établir des lignes et des assises horizontales aussi étendues que celles dont les pyramides se composent. En tout cas, on voit qu'ils savaient en exécuter de telles, par le fait. On pourrait même être tenté de croire qu'ils auraient aussi anciennement rapporté, ou comparé au fil à plomb, les hauteurs méridiennes du soleil,

---

(1) *Grammaire égyptienne*, pag. 355 et 356. *Dictionnaire égyptien*, pages 359 et 360.

en différentes saisons et en différents lieux. Car Champollion a vu le niveau d'architecte, avec le fil à plomb pendant de son sommet, employé comme déterminatif du dieu Knouphis, à Syène et dans les localités environnantes, que l'antiquité croyait situées exactement sous le tropique; localités auxquelles ce dieu présidait, en même temps qu'il était une des formes représentatives du soleil (1). Mais je ne m'appuierai point sur cette relation idéographique, parce que, bien que Champollion la croie ancienne, néanmoins, dans les feuilles de son voyage où il la rapporte, on n'a pas la preuve qu'il l'ait trouvée sur des monuments pharaoniques. Or, je ne dois employer ici que des notions contemporaines des pyramides. C'est pourquoi je me bornerai à rappeler que, d'après les monuments de cette époque, tout le symbolisme égyptien était déjà établi, dans sa connexion générale tant religieuse que politique, avec les phases solaires. Et le caractère ⊙ figuratif du soleil faisait habituellement partie du cartouche des rois, comme signifiant le pouvoir, la vertu vivifiante et la splendeur de l'astre divin auquel ils étaient assimilés. Rien n'était plus naturel que cette association. En effet, les Égyptiens formant alors une nation si nombreuse, dont tous les moyens de subsistance étaient dus au débordement du Nil, exactement comme de nos jours, ils n'avaient pu manquer d'apercevoir la coïncidence de la crue avec l'époque de l'année où le soleil était le plus élevé sur leurs têtes; et ils avaient l'intérêt le plus immédiat à chercher les signes

(1) Champollion, *Voyage en Égypte*, p. 228.

précurseurs de ce phénomène, dans les positions successives de l'astre qui le réglait. C'est aussi vers ces anciennes époques que se réalisa pour eux la concordance du lever héliaque de Sirius avec le solstice d'été, dont le souvenir fut constamment conservé par la tradition; et l'observation des levers héliaques suppose celle des levers du soleil, que l'étoile doit précéder immédiatement à l'horizon oriental. Enfin, le déplacement progressif des points de l'horizon où cet astre se lève et se couche, offre le signal le plus évident, le plus saisissable de ses inégales hauteurs, que les Égyptiens avaient tant d'intérêt à constater. Ces simples notions, suggérées par le besoin et par les circonstances physiques du pays, dont leur notation des douze mois atteste une observation si attentive, étant jointes à la pratique de la règle et du niveau, sans lesquels ils n'auraient pu exécuter des constructions aussi gigantesques que les pyramides, suffirent dès lors, non-seulement pour tracer des lignes méridiennes, mais encore pour déterminer, à un ou deux jours près, les époques annuelles des équinoxes, des solstices, et pour reconnaître la période annuelle de $365^{j} \frac{1}{4}$, après laquelle ces phénomènes se reproduisaient.

En effet, concevons l'assise inférieure de la grande pyramide d'abord établie seulement dans sa partie centrale, avec sa surface bien dressée, comme les Égyptiens savaient le faire, et nivelée exactement. A un jour quelconque de l'année, remarquez le point de l'horizon oriental où le soleil se lève; et, à cet instant, alignez une règle sur le premier bord de son disque qui commence à paraître; puis tracez, sur la surface plane, une droite qui en marque la direction. Cela était facile: car, du tertre où l'on a élevé les pyramides, l'horizon se montre de toutes parts libre, et circulairement

terminé. Faites la même chose le soir du même jour, quand le soleil se couche, en prenant, cette fois, pour point de mire, son dernier bord. La ligne intermédiaire entre les deux droites ainsi tracées sera la méridienne, avec une complète rigueur, si vous avez opéré à l'époque des solstices; avec une erreur de quelques minutes dans tout autre temps (1). Vous l'obtiendrez même, sans compas, en portant des longueurs égales sur les deux branches de l'angle, et bissectant la corde interceptée. C'est le procédé qu'indique Proclus. Mais l'observation des points orient et occident d'un même jour, sur un horizon libre, est bien plus exacte que celle de l'égalité des ombres, toujours mal terminées. Maintenant voulez-vous connaître le jour de l'équinoxe vernal? Tracez avec l'équerre une perpendiculaire à votre méridienne, dont vous aurez pu constater l'invariable constance par les opérations de différents jours, puis portez le matin votre règle sur ce nouvel alignement. Depuis le solstice d'hiver jusqu'à la veille de cet équinoxe, le soleil se lèvera au midi de la règle: le lendemain, il se lèvera au nord. L'équinoxe sera intermédiaire entre ces deux instants, et vous en obtiendrez ainsi l'époque, à moins d'un jour près. La même observation, réitérée le soir, vous la donnera encore dans les mêmes limites. Le phénomène se reproduira en sens inverse, quand arrivera l'équinoxe automnal. Le point orient du matin, et celui du soir, passeront du nord au sud de la perpendicu-

---

(1) On corrigerait cette erreur en réitérant l'observation du matin au jour suivant, et menant une droite intermédiaire entre les directions des deux levers consécutifs, droite que l'on comparerait à l'observation du soir.

laire. L'opération est bien simple : il suffit de regarder. L'époque intermédiaire entre l'équinoxe vernal et l'équinoxe automnal suivant, sera celle du solstice d'été, qui coïncidera avec le plus grand écart du lever et du coucher du côté du nord, mais qui sera marquée ainsi bien plus exactement que par cet écart, parce qu'il reste sensiblement le même pendant plusieurs jours. Vous l'obtiendrez de cette manière, à moins de deux jours près. Le solstice d'hiver sera pareillement intermédiaire entre l'équinoxe automnal et l'équinoxe vernal suivant. Vous en obtiendrez l'époque dans les mêmes limites. Enfin, voulez-vous connaître la durée de la révolution tropique? Observez le retour du lever ou du coucher du soleil à un même équinoxe, ou plus généralement à un même point de l'horizon. Pour cela, ayant aligné votre règle sur le premier bord orient de son disque, tracez la direction de cet alignement, et voyez après combien de jours le lever s'y reproduit. Deux retours consécutifs ainsi observés vous donneront d'abord la partie principale, 365 jours. Puis la fraction complémentaire $\frac{1}{4}$ se manifestera par l'erreur même des retours comparés à cette première période ; leur retard progressif s'élevant à un mois entier de 30 jours, après 120 révolutions; de sorte qu'il sera impossible d'en méconnaître l'existence, et très-facile d'en apprécier ainsi la valeur. Tous ces résultats n'exigent aucune science, aucune spéculation théorique, pas même la connaissance du cercle oblique parcouru par l'astre dans le ciel. Cependant ils suffiront à tous les besoins d'une société primitive, et ils seront aussi exacts que ceux dont les Chinois se sont contentés pendant plus de deux mille ans.

Si vous voulez admettre que la connaissance du fil à plomb

aura suggéré l'idée d'élever un style vertical sur le plan horizontal fixe qui nous a servi tout à l'heure, les époques des équinoxes, des solstices, et la durée de la période solaire, se manifesteront d'elles-mêmes d'une manière encore plus simple, par les directions des ombres du matin et du soir. En effet, vous en conclurez d'abord la direction de la méridienne et de sa perpendiculaire, par bissection, comme précédemment. Puis, le passage des ombres du nord au sud de cette dernière ligne, et leur retour périodique à une même direction horizontale, vous donneront tous les autres résultats. Ce procédé, pour tracer une méridienne, est indiqué dans l'ancien texte chinois intitulé Tcheou-pei; et l'on y prescrit de l'employer aux époques des solstices (1). Il est également rapporté dans les livres sanscrits comme moyen de trouver la durée de l'année par le retour des ombres du matin ou du soir à une même direction horizontale, dans les temps voisins des équinoxes, où le changement des points de lever et de coucher du soleil est le plus rapide (2) : tant ces idées sont simples et se présentent naturellement.

On obtiendrait encore les mêmes résultats au moyen de gnomons verticaux à style oblique, pouvant être dirigés à la main, et dont on tournerait la face vers les points de l'horizon où le soleil se lève et se couche dans un même jour. Quoique ce procédé soit à peine plus complexe que les précédents, et qu'il ne suppose non plus aucune science théo-

(1) *Traduction et examen du Tcheou-pei*, par E. Biot. Journal asiatique de 1841, tom. XI, pag. 624.

(2) Davis, *Recherches sur le cycle indien de 60 ans*. Mémoires de la Société de Calcutta, tom. III, pag. 211.

rique, je n'ai pas voulu le faire intervenir dans ces premières déterminations. Mais je dois cependant le mentionner ; car, ainsi qu'on va le voir, il est fort à présumer que les Égyptiens ont très-anciennement possédé de pareils instruments, qui étaient spécialement destinés à un tel usage. Le fait, en lui-même, n'aurait rien qui doive surprendre. Leurs monuments nous attestent qu'ils ont su, à des époques très-reculées, mesurer des intervalles égaux de temps. La division de la révolution diurne, en douze heures de jour et douze heures de nuit, est un élément de leurs plus anciens rites. Ces deux séries étaient symbolisées par vingt-quatre divinités spéciales en relation avec le soleil pour les heures de jour, avec les étoiles pour les heures de nuit. On les voit ainsi figurées sur deux sarcophages antiques que possède le musée du Louvre : l'un, celui du pharaon *Ramsès Meiamoun;* l'autre, celui de l'hiérogrammate memphite *Taho, fils de Rompé-nofris* (1). Cela suppose donc, soit des gnomons solaires et des clepsydres à écoulements constants, soit tout au moins ces derniers appliqués à la mesure des mouvements diurnes du soleil et des étoiles. Mais quiconque a le sentiment pratique de pareilles méthodes, conçoit tout de suite qu'elles conduisent nécessairement à reconnaître la variable durée des jours et des nuits en différentes saisons ; leur égalité à certaines époques, celles des équinoxes; leurs différences extrêmes dans d'autres, celles des solstices; la relation constante de ces époques avec les points de lever et de coucher

---

(1) Champollion, *Mémoire sur les signes employés par les anciens Egyptiens à la notation des divisions du temps*, article *Heures.*

du soleil, avec ses diverses hauteurs méridiennes, avec les groupes d'étoiles qui le précèdent immédiatement le matin avant qu'il se lève, ou qui le suivent immédiatement le soir après qu'il se couche; par suite, la notion de sa route oblique, et la connaissance des groupes stellaires qui, sur cette route, marquent les points équinoxiaux et solsticiaux. Maintenant, chez un peuple qui symbolisait tout, même les abstractions, quoi de plus naturel que de désigner ces points particuliers du ciel par des figures emblématiques, et de les reproduire associées comme symboles religieux ou astrologiques dans les décorations des tombes royales, de même qu'on y représentait les phases de la vie des rois en rapport avec le mouvement diurne du soleil, dont ils étaient l'image (1)? Je ne veux point trop presser ces conséquences. Mon seul but ici est de montrer l'importance qu'elles donneraient à la connaissance des procédés que les Égyptiens employaient pour mesurer le temps. Par malheur, on s'est peu occupé de les découvrir : les voyageurs de l'expédition française, parce qu'ils supposaient l'ancienne Égypte trop savante pour qu'on eût besoin d'y rechercher des choses aussi simples; et ceux qui leur ont succédé, parce qu'ils étaient généralement trop étrangers à l'astronomie pour les apercevoir, ou en sentir l'utilité. Nous sommes donc réduits à en chercher quelques traces dans les écrits des Grecs, toujours si pauvres en documents scientifiques étrangers à leurs doctrines. Ptolémée mentionne une seule fois les clepsydres comme employées pour

(1) Champollion, *Description du tombeau royal de Ramsès, fils et successeur de Meiamoun*; treizième lettre écrite d'Égypte, pag. 225, 2e éd.

mesurer le diamètre du soleil par la durée de son lever au temps des équinoxes; mais il se borne à blâmer cette pratique sans la décrire, lui préférant la mesure directe du diamètre par la dioptre d'Hipparque, dont l'emploi n'a pas été meilleur dans ses mains. Au reste, il donne bien plus lieu de s'étonner par le silence qu'il garde sur ses procédés propres, ne disant nulle part comment il mesure les parties du temps dans les observations qu'il a faites lui-même, quoiqu'il y rapporte jusqu'à des fractions d'heures évaluées pendant la nuit. Géminus, dans son *Introduction aux phénomènes célestes*, atteste que les Égyptiens de son temps avaient des cadrans solaires qui leur annonçaient les époques des solstices. Il ne dit pas de quelle nature étaient ces cadrans; s'ils étaient à style oblique ou à style droit, marquant les heures par l'ombre de sa pointe, comme les gnomons grecs. En outre, son assertion n'a elle-même qu'une valeur contemporaine. Toutefois, par le sens qu'il lui donne et l'usage qu'il en fait, on voit bien qu'il veut parler d'une pratique usuelle depuis longtemps établie (1). Cette indication d'antiquité est confirmée par le témoignage d'un écrivain à la vérité encore plus moderne, mais qui rattache ce genre d'instruments et d'observations à un office religieux. Clément d'Alexandrie nous apprend que, dans les cérémonies publiques du culte égyptien, l'hiérogrammate chargé de l'astronomie (ὡροσκόπος) portait à la main une horloge (ὡρολόγιον), comme marque de ses fonc-

(1) Voici le passage de Géminus, cap. VI, *des mois* : Καὶ αἱ τῶν ὡρολογίων καταγραφαὶ ἐκδήλους ποιοῦσι τὰς κατ' ἀλήθειαν γινομένας τροπὰς, καὶ μάλιστα παρ' Αἰγυπτίοις ἐν παρατηρήσει γενομένας. Le dernier membre de la phrase indique bien une pratique ancienne.

tions sacerdotales (1). Clément ne dit point de quelle nature était cette horloge ; mais le nom qu'il lui donne caractérise un cadran solaire, car Ptolémée appelle les clepsydres ὑδρομέτρια (2). Or, Champollion a découvert dans le Musée de Turin un instrument, ou plutôt un *insigne* de ce genre, évidemment destiné à des observations solaires, et qui appartenait précisément à un hiérogrammate, dont il porte le nom sculpté sur le contour de sa base, en caractères hiéroglyphiques très-soigneusement exécutés. J'avais publié ce curieux monument dans mon Mémoire sur l'année vague égyptienne, d'après un dessin très-exact, de grandeur naturelle, que l'astronome royal de Turin, M. Plana, a bien voulu en faire prendre pour moi (3) ; mais je n'avais pas alors suffisamment signalé ses particularités caractéristiques, qui le distinguent essentiellement de tous les gnomons grecs ; et, pour les rendre plus appréciables, j'en ai fait construire une copie fidèle, seulement plus grande que l'original, pour l'adapter à des observations réelles. Je la mets sous les yeux de l'Académie. L'instrument se compose d'un parallélipipède vertical, dont la

---

(1) Clément d'Alexandrie, *Stromates*, lib. VI, pag. 757, in-folio.

(2) *Almageste*, liv. V, chap. XIV, au commencement.

(3) On a reproduit ce dessin dans la planche première jointe à ce mémoire. Pour rendre l'usage de l'instrument sensible, on a restitué le prolongement de la règle qui était brisée, et l'on y a figuré aussi le style oblique qui avait été enlevé, en lui donnant une inclinaison d'environ 46° sur la face verticale qui devait recevoir son ombre. Cette inclinaison est celle que M. Plana avait mesurée, d'après la direction du trou oblique percé dans la face supérieure, près de la raie horizontale de cette face verticale, à l'endroit où le style devait s'insérer.

base se prolongeait d'un côté en une règle rectangulaire, aujourd'hui brisée, que j'ai fait restituer; ce qui montre qu'il était destiné à être placé sur un plan horizontal. La face latérale du parallélipipède, qui est opposée à la règle, porte l'image en pied de Phré le dieu Soleil; et sur la face de retour, du côté qu'il regarde, sont tracées deux lignes parallèles d'une extrême finesse, destinées à recevoir ou plutôt à comprendre l'ombre d'un style oblique à cette face (1). Ce style n'existe plus; mais son orifice oblique d'introduction se voit sur la base supérieure du parallélipipède; et en y insérant une tige métallique, M. Plana a trouvé qu'il était incliné d'environ 46° sur la face où il projetait son ombre. Or, il y a là plusieurs caractères qui n'existent dans aucun gnomon grec: d'abord l'obliquité du style sur le plan d'ombre; puis la restriction du tracé à une direction d'ombre unique et verticale, projetée dans un plan perpendiculaire à la longueur de la règle; enfin la fixation rigoureuse de cette direction, non par coïncidence sur une simple ligne tracée d'avance, comme dans tous les instruments de gnomonique grecs ou modernes, mais par l'insertion de l'ombre du style dans l'étroit espace compris entre les deux parallèles verticales, de manière à s'écarter également de l'une et de l'autre, toutes deux étant également distantes de l'axe du trou dans lequel le style est inséré. Cette dernière circonstance surtout décèle un sentiment, ou,

---

(1) Dans le monument original, qui est en basalte noir, parfaitement poli, ces deux lignes, selon ce que m'a dit Champollion, consistent en deux rides parallèles d'une extrême finesse, ménagées en saillie sur la face qui devait recevoir l'ombre. L'excessive difficulté de les exécuter ainsi, montre bien l'importance intentionnelle qu'on y attachait.

si l'on veut, un instinct de précision qu'aucun observateur ne saurait méconnaître. Nous savons tous en effet, par expérience, que la bissection d'un petit espace rectangulaire ou circulaire s'apprécie avec beaucoup plus de justesse qu'une superposition de lignes. Mais je ne crois pas qu'on ait l'exemple d'une attention aussi délicate dans aucun autre instrument ancien. Celui-ci étant présenté au soleil levant, puis au soleil couchant, aurait donc suffi, comme je l'ai dit plus haut, pour tracer par bissection des lignes méridiennes, déterminer les époques des équinoxes, des solstices, trouver la durée de l'année; et d'après les particularités de sa construction, surtout d'après la spécification si remarquable de sa ligne d'ombre, on ne saurait lui concevoir d'autre usage. Or, le lieu où il a été trouvé, les caractères qu'il porte, les fonctions du personnage auquel il appartenait, enfin son originalité même, attestent qu'il était bien spécialement égyptien.

En résumé: les retours du soleil aux mêmes points de l'horizon, quand il se lève ou qu'il se couche, dans un pays découvert comme l'Égypte, offrent le moyen le plus simple, et qui a dû se présenter le plus naturellement, pour déterminer la durée approchée de l'année solaire. Mais ce procédé s'éloignant de nos méthodes modernes, on y a peu songé; et l'on a supposé généralement que cette évaluation primitive avait dû être obtenue par des inductions réellement beaucoup plus difficiles et plus incertaines. Telles sont, par exemple, celles que l'on tirerait des levers héliaques, dont les intervalles ont été surtout signalés, par beaucoup de personnes érudites, comme ayant dû indiquer aux anciens Égyptiens la durée de l'année solaire. Cependant, avec un peu de pratique de l'astronomie, on aurait aisément reconnu que des phé-

nomènes aussi vagues ont pu seulement être employés comme pronostics astrologiques, ou pour des annonces populaires de certaines époques de l'année, mais non pas comme des déterminatifs absolus de temps, ainsi qu'il l'aurait fallu si l'on avait voulu en conclure la durée de l'année solaire, avec laquelle ils n'ont d'ailleurs qu'un rapport fortuit et indirect. Cela paraîtra dans une entière évidence lorsque je montrerai à quelles computations il aurait fallu se livrer pour déterminer l'époque absolue d'un lever héliaque de Sirius, de manière à en faire la limite d'une période chronologique. Mais auparavant je signalerai une particularité singulière qui a été spéciale pour l'Égypte, exclusivement à tout autre pays. C'est que la période annuelle de 365 jours, même celle de $365^{j}\frac{1}{4}$, y ont été rendues sensibles à tous les yeux par des indications bien plus évidentes et bien plus précises que les levers héliaques, dès que la grande pyramide de Memphis a été bâtie : et il n'a pas fallu d'autres instruments pour obtenir ces résultats, s'ils n'étaient pas déjà connus antérieurement par les procédés qui ont servi pour orienter cette grande construction. Ce fait, qu'on n'a pas assez remarqué, confirmera, par un frappant exemple, tout ce que je viens de dire.

Je n'ai pas besoin d'examiner quelle a pu être la destination intentionnelle des pyramides de Memphis, ni quels motifs on a pu avoir de les ériger. Il me suffit que les plus grandes existent depuis les anciens temps des premières dynasties égyptiennes, ce qu'apparemment on ne niera point. Les recherches récentes du colonel Wyse ont prouvé, conformément aux indications de l'histoire, que leurs pans latéraux étaient recouverts d'un parement en pierres lisses constituant quatre surfaces extérieurement planes, desquelles

deux sont presque rigoureusement perpendiculaires au plan du méridien, et les deux autres au vertical d'est-ouest. L'inclinaison des faces sur le plan des bases a été trouvée sensiblement égale pour ces trois pyramides, comme pour toutes les autres de la même localité ; et, d'après les mesures qu'on en a prises, elle surpasserait de très-peu 52°. Cette évaluation pourrait toutefois comporter une légère incertitude, l'angle qu'elle indique étant celui que présentent aujourd'hui les faces dépouillées de leur parement, et dégradées par la vétusté ; mais cela n'aura aucune influence sur les résultats que je veux établir. La plus grande pyramide, que je me bornerai à prendre pour exemple, est construite sur un tertre naturel, d'où la vue s'étend de toutes parts, sans obstacle ; en sorte que l'horizon que l'on découvre paraît circulairement terminé, presque comme il le serait sur la mer. D'après les observations de Nouet, la hauteur du pôle y est presque exactement de 30°. Je lui attribuerai cette valeur.

Je dis maintenant, qu'avec ou sans la prévision de ceux qui ont érigé cette énorme masse, elle a, depuis qu'elle existe, fait l'office d'un immense gnomon, qui, par l'apparition et la disparition de la lumière solaire sur ses diverses faces, a marqué annuellement les équinoxes avec une erreur moindre qu'un jour, et les solstices avec une erreur moindre qu'un jour trois quarts. En sorte que, par ces indications qu'il suffirait de regarder, on a pu, sans aucune science, connaître les époques de ces phénomènes, et en déduire la durée de l'année solaire plus aisément, plus exactement, que par tout autre appareil de dimension moindre qu'on aurait construit exprès pour ce but. Il ne faut que suivre par la pensée la succession des apparences qui se manifestaient ainsi an-

nuellement, pour en voir résulter toutes ces conséquences.

Considérons d'abord spécialement les périodes d'illumination de la face australe et de la face boréale, qui sont toutes deux perpendiculaires au plan du méridien. Depuis le solstice d'hiver jusqu'à la veille de l'équinoxe vernal, le soleil, à son lever, éclaire la face australe, et laisse la boréale dans l'obscurité. L'ombre de la masse, à cet instant, se projette au nord de la ligne est-ouest. Le lendemain du même équinoxe, l'effet est inverse. Le soleil levant éclaire la face boréale, et laisse l'australe obscure. L'ombre de la masse, à cet instant, se projette vers le sud. L'époque exacte de cet équinoxe est donc comprise entre les deux jours où l'on voit ce changement s'opérer. Le soleil couchant la marque aussi, par des caractères pareils, entre ces mêmes jours, sauf les petites différences de temps que le changement de la déclinaison du soleil en douze heures et les accidents de la réfraction atmosphérique y pouvaient produire ; comme dans les observations faites vingt siècles plus tard, avec les armilles d'Alexandrie.

L'équinoxe automnal amène des alternatives semblables, dans un ordre contraire. La première illumination du matin, et la dernière du soir, passent de la face boréale à la face australe ; et l'ombre de la masse, à ces mêmes instants, passe du sud au nord. L'époque de ce second équinoxe se conclut donc, ou plutôt se voit de la même manière, et entre des limites pareilles d'erreur.

Rien n'est plus facile que de saisir ces mutations par des observations du matin et du soir, faites un peu avant ces deux instants de l'année. Mais, en outre, les temps où elles vont s'opérer sont annoncés d'avance par un phénomène

résultant du degré d'inclinaison qui a été donné aux faces sur le plan de leur base. Depuis le solstice d'hiver, jusqu'au vingt et unième jour environ avant l'équinoxe vernal, le soleil, dans sa course diurne, n'éclaire que la face australe : la boréale reste constamment obscure. Vers le vingtième jour avant l'équinoxe, un trait de lumière solaire vient tout à coup illuminer cette face, au moment de midi. C'est le sommet supérieur du disque qui la dépasse : notez cet instant. Depuis lors, le soleil continuant à décrire un cercle plus élevé, cette face s'illumine chaque jour plus tôt, et pour plus longtemps. Enfin, le jour de l'équinoxe vernal, ou le lendemain au plus tard, elle est éclairée dès le matin même, et ne rentre plus dans l'ombre jusqu'à l'autre équinoxe. Mais, après celui-ci, le soleil l'abandonne de nouveau pendant une partie du jour, par les mêmes périodes de décroissement. Enfin, vers le vingtième jour au delà de cet équinoxe, elle n'est plus illuminée qu'un seul instant par le sommet supérieur du disque au moment de midi. Si vous négligez la petite différence de durée du printemps et de l'été, ou de l'automne et de l'hiver, comme l'ont fait les Chinois, et comme ont dû le faire tous les anciens peuples qui ne se servaient que de leurs yeux, sans théorie, le solstice d'été sera intermédiaire entre les deux équinoxes vernal et austral, ou mieux encore entre les deux époques d'illumination instantanée de la face boréale, par un même sommet de l'astre. Le solstice d'hiver sera pareillement intermédiaire entre l'équinoxe automnal et l'équinoxe vernal suivant, ou entre les époques d'illumination instantanée qui y correspondent. L'erreur de ces évaluations sera moindre que $1^{j} \frac{3}{4}$. Les instants auxquels le soleil arrive à ces phases extrêmes seront marqués ainsi beau-

coup plus exactement qu'ils ne le seraient par les longueurs des ombres méridiennes que projetterait un style vertical à pointe effilée, comme étaient les gnomons grecs. Cet avantage résulte de ce que l'inclinaison des faces sur le plan des bases, conduit la face boréale un peu au-dessous du plan de l'équateur céleste, de manière à lui faire présager l'équinoxe vers les temps de l'année où le changement diurne de la hauteur méridienne est le plus rapide, en l'éloignant du sommet de l'arc que le soleil décrit au solstice d'été. Car si la face avait été dirigée au sommet solsticial même, ou sous quelque inclinaison voisine de celle-là, la lenteur du mouvement en déclinaison près de cette limite, aurait rendu les époques d'illumination instantanée trop incertaines pour être d'aucun usage ; au lieu que l'inclinaison étant peu différente de l'équatoriale, ces époques fournissent des indices de temps absolu beaucoup plus précis; ce que je remarque d'ailleurs comme un simple fait, sans prétendre qu'on y eût attaché un sentiment de prévision.

Les faces orientale et occidentale présentent aussi chaque jour des phases d'illumination et d'obscurité, dont les limites de transition sont soudaines. Mais la phase d'illumination est toujours la plus longue; de sorte que, chaque jour, ces deux faces sont éclairées simultanément pendant quelques heures autour de midi. La moindre durée de ce phénomène a lieu au solstice d'hiver; la plus grande, au solstice d'été. Quand il coïncide avec les phases d'éclairement simultané des faces boréale et australe, toute la pyramide est éclairée à la fois, et ne projette point d'ombre hors de sa base. Cela arrive ainsi depuis le vingtième jour avant l'équinoxe vernal, jusqu'au vingtième après l'équinoxe automnal; mais, pour un

seul instant à ces deux limites, pendant cinq heures et demie au solstice d'été. Je rejette les détails de cette gnomonique en note (1). Mais je signale ici le fait général, parce que le manque d'ombre à certaines époques de l'année, et à certaines heures du jour, a été fort remarqué, et célébré, par beaucoup d'auteurs anciens, qui toutefois l'ont caractérisé inexactement. Or, on ne pouvait avoir reconnu ce fait qu'en suivant le progrès annuel de l'éclairement des diverses faces de la pyramide; et, une fois que l'attention s'y portait, il est comme impossible que, pendant des milliers d'années, des prêtres observateurs qui résidaient sur les lieux, et qui par état suivaient les phases du soleil, n'y aient pas découvert d'autres rapports si évidents avec la marche de cet astre; quoiqu'ils aient pu n'en mentionner aux étrangers que cette particularité la plus frappante, et la plus propre à exciter leur admiration (2).

---

(1) Voyez, à la fin du mémoire, la note 3.

(2) Dans le texte annexé aux planches n° 26 du Panthéon égyptien, Champollion dit que, parmi les objets retirés des catacombes d'Égypte, on trouve souvent de petites pyramides votives, dont les quatre faces sont recouvertes de sculptures *toujours* relatives au culte du soleil, considéré sous les diverses formes divines représentatives de ses phases principales. J'ai constaté l'exactitude de cette assertion sur plusieurs pyramides de ce genre qui existent au musée du Louvre; et l'on trouvera à la suite de ce mémoire, dans la note 4, les considérations que cet examen m'a suggérées. Je me borne ici à faire remarquer que l'application ainsi constamment opérée des diverses phases de l'astre, aux diverses faces de ces petites pyramides, semble n'avoir pu dériver que de l'observation des relations phénoménales analogues, qui se produisaient réellement, pendant toute la durée des siècles, sur les faces correspondantes des pyramides véritables.

Nous venons de suivre les phénomènes d'illumination diurnes qui s'opèrent sur les faces des pyramides dans une même année. Leur seule succession ainsi observée donne immédiatement, par le retour de ses phases, la portion principale de la période solaire, 365 jours. Le quart de jour additionnel se manifeste bientôt par le retard progressif des mêmes phases sur cette première évaluation. Ce retard n'étant que d'un jour en quatre révolutions solaires, peut bien n'être pas encore aperçu, ou du moins mesuré, après un si court intervalle de temps. Mais il s'élève à 10 jours après 40 ans, et à un mois entier de 30 jours après 120 ans; de sorte qu'il devient impossible de le méconnaître, surtout ici, où l'illumination instantanée de la face boréale offre un signal périodique si évident et si exact. Cette forme d'induction, toute naturelle qu'elle est, je ne la prête pas aux anciens. C'est ainsi qu'ils ont découvert les fractions simples qui complètent toutes les périodes auxquelles ils s'efforçaient de ramener les mouvements célestes, dans la persuasion où ils étaient de leur uniformité. Je n'ai fait que transporter ici, mot à mot, le raisonnement dont se sert Géminus pour montrer, aux Grecs de son temps, comment les fêtes d'Isis, qui étaient fixées à un certain jour du calendrier égyptien, devançaient continuellement les phases solaires de cette même fraction $\frac{1}{4}$ de jour. Seulement, pour ne pas prêter aux anciens Égyptiens des déterminations que l'on pût supposer trop précises, j'ai fort élargi les amplitudes d'erreur que les observations de ces phases pouvaient comporter.

Les effets périodiques d'ombre et de lumière que je viens de décrire se sont réalisés sur les faces des pyramides de Memphis depuis qu'elles existent. Ils s'y réalisent encore de

nos jours, suivant les mêmes lois. Ils n'ont pas été complétement remarqués, ou du moins décrits, par les voyageurs qui ont visité ces monuments; ce qu'explique assez le peu de durée de leur séjour, et la nature des idées, très-éloignées de celles-là, qui les occupaient. Mais peut-on croire qu'ils aient également échappé à l'attention continue des prêtres de Memphis, que toute l'antiquité nous dit avoir été voués pendant des siècles à l'étude du ciel et à l'observation des phases solaires, lorsque la détermination de ces phases résultait ainsi, avec tant de simplicité, d'exactitude et d'évidence, des phénomènes qui s'offraient tous les jours à leurs yeux dans d'aussi grandes proportions? Il faudrait pour cela leur supposer une stupidité ou une indifférence tout opposées à ce que les historiens nous en racontent. Néanmoins je ne prétends pas affirmer qu'ils n'eussent point, antérieurement aux pyramides, obtenu déjà les notions des équinoxes, des solstices, ainsi que de la période solaire, par quelqu'un des procédés qu'ils ont dû employer pour effectuer l'orientation si exacte de ces monuments. Et, me bornant à présenter ce qui précède, comme un simple exemple de la facilité qu'on a eue, en Égypte, pour obtenir ces premières déterminations par des moyens pareils ou analogues, j'irai au-devant de deux conséquences inexactes qu'on pourrait vouloir en déduire.

La première se présente sous une forme dubitative. Le même système d'observations qui aurait fait connaître si aisément le quart de jour, n'aurait-il pas dû donner aussi aux anciens Égyptiens la fraction soustractive de ce quart, qui complète la véritable durée de l'année solaire? Cependant nous voyons qu'Hipparque ne l'a connue que par ses propres recherches, et très-imparfaitement. La notion de

ce résultat ne l'avait donc pas précédé. Je le crois aussi. Mais l'opposition qu'on voudrait établir sur ce rapprochement n'a rien de réel, parce qu'elle suppose une nécessité de connexion qui n'existe pas. La fraction complémentaire dont il s'agit est excessivement petite. La réduction qu'elle apportait à la période de $365^j \frac{1}{4}$, lors de ces anciennes époques, ne produisait qu'un écart de $7^j,6$ en mille ans. Pour chercher à la découvrir, il aurait fallu d'abord en sentir le besoin, qui ne peut pas être suggéré par la nécessité pratique, mais par un désir de perfectionnement théorique, auquel les peuples primitifs sont étrangers. C'est ainsi que les anciens Chinois ont employé pendant plus de deux mille ans la période de $365^j \frac{1}{4}$, en se bornant à corriger par occasion son erreur absolue, sans chercher à obtenir une évaluation plus exacte et plus durable. En outre, si les Égyptiens de ces mêmes temps avaient eu l'idée de découvrir cette petite fraction, et s'ils eussent voulu l'évaluer avec quelque certitude par des observations qui comportaient au moins une erreur d'un jour, comme celles que nous pouvons leur supposer, il aurait fallu qu'ils les eussent suivies avec continuité pendant au moins mille ou quinze cents ans, de manière à pouvoir faire le compte exact des jours de retard, compris entre les deux époques extrêmes qu'ils auraient comparées. Or, cette rigoureuse transmission de dates absolues pendant un temps si long, non-seulement n'est pas prouvée pour l'ancienne Égypte, mais elle est encore très-peu supposable, parmi les révolutions que ce pays a subies; surtout les dates égyptiennes ne se comptant pas, comme les nôtres, à partir d'une ère fixe, indépendante des événements politiques, mais reprenant d'une ère nouvelle à l'avénement de chaque

souverain. Les éléments de perturbation que ces rénovations introduisent dans la chronologie, s'aperçoivent aisément; ils remplissent l'histoire ancienne. L'empêchement absolu qu'ils peuvent trop aisément apporter aux calculs astronomiques sera mis tout à l'heure dans une évidence manifeste.

La seconde conséquence que je veux prévenir exigerait la même condition de continuité que celle-là, et dans une application plus générale. Si les Égyptiens avaient observé très-anciennement des équinoxes et des solstices, dont ils auraient déterminé les époques entre des limites d'erreur d'un ou de deux jours, comme nous venons de voir qu'ils pouvaient très-aisément le faire, pourquoi n'en trouve-t-on aucune mention quelconque dans l'ouvrage de Ptolémée; de Ptolémée, qui avait tant d'intérêt à rechercher ces anciennes déterminations, à les prendre pour données distantes de ses théories, et qui, résidant lui-même en Égypte, n'aurait pu ignorer l'existence de pareils documents ? S'il n'en a rien dit, s'il a été contraint de recourir à des observations chaldéennes ou grecques, sans mentionner un seul résultat égyptien, n'est-ce pas qu'il n'y en avait aucun qui pût lui servir? Et n'en doit-on pas conclure que toute la science astronomique dont se vantaient les prêtres d'Égypte se réduisait à des notions purement spéculatives, dépourvues de déterminations exactes? Cette induction, que je m'attache à présenter ici dans toute sa force, a été, je crois, énoncée primitivement par Delambre. Elle a été embrassée avec ardeur par un savant helléniste, qui paraît avoir entrepris d'ôter à l'ancienne Égypte toute présomption d'équinoxes et de solstices, observés antérieurement aux Grecs. Je ne dissimulerai pas qu'autrefois elle m'avait semblé pareillement très-forte, sinon décisive. Mais

une pratique plus habituelle des calculs par lesquels on rattache à notre temps les anciennes déterminations astronomiques, pour en pouvoir faire usage, m'a montré qu'elle n'a nullement ce caractère de certitude. Car le silence de Ptolémée, sur les anciennes observations égyptiennes, pourrait avoir une tout autre cause que leur non-existence; j'ajoute, une cause beaucoup plus naturelle et plus vraisemblable, consistant dans le défaut de continuité des dates transmises, qui lui aurait rendu impossible de s'en servir.

Remarquez, en effet, que ce silence s'étend à une grande classe de phénomènes astronomiques qui ont dû être inévitablement vus, observés et notés par les Égyptiens: je veux parler des éclipses. Elles n'ont pu manquer d'être remarquées par eux, qui avaient des cérémonies relatives aux phases lunaires, des emblèmes religieux pour désigner le renouvellement de la lune, une divinité spéciale pour y présider, et dont l'attention continuelle à suivre les mouvements de cet astre peut seule faire concevoir la concordance incroyablement précise que nous trouvons établie entre ses positions absolues et celles du soleil, dans leur calendrier usuel, à l'époque de — 1780. Il est presque superflu de rapporter, comme preuve matérielle d'un fait d'une si grande évidence, ce que dit Sénèque au chap. VI des *Questions naturelles :* que, postérieurement à Eudoxe, l'astronome Conon avait rassemblé, dans un ouvrage spécial, les observations d'éclipses de soleil, conservées par les Égyptiens. *Conon postea diligens, et ipse inquisitor, defectiones quidem solis servatas ab Ægyptiis collegit.* A quoi il ajoute : *Nullam autem mentionem fecit cometarum, non prætermissurus, si quid explorati apud illos comperisset.* La conclusion est inexacte, parce que Conon

avait pu ne rechercher que les éclipses de soleil, pour tâcher d'y découvrir les éléments de quelque période qui servît à les prédire. Mais elle prouve que Conon était allé lui-même recueillir ces observations en Égypte, et que Sénèque avait vu le livre où il les avait rassemblées. Il ne saurait y avoir de témoignage plus formel. Or, si les Égyptiens consignaient dans leurs registres des phénomènes pareils, dont les retours leur étaient impossibles à prévoir, puisqu'ils ont pu seulement être calculés par les théories modernes, à cause des variétés d'aspect que les parallaxes y introduisent, ils devaient encore moins omettre les éclipses de lune, qui étaient liées également à leurs rites, et dont la période se présente d'elle-même, puisqu'elles reviennent presque exactement après dix-huit années solaires, plus dix ou onze jours (1). Pourquoi donc Ptolémée n'en a-t-il fait aucun usage? On ne peut pas supposer qu'il se serait dispensé d'y recourir, parce qu'il avait celles des Chaldéens, dont encore il n'a pu extraire qu'un très-petit nombre qui fussent dans les conditions convenables pour établir ses théories. Car, parmi toutes celles que les Égyptiens avaient vues, il devait nécessairement s'en trouver qui offraient des circonstances pareilles, et même contemporaines à celles-là ! Elles en auraient fourni une vérification très-importante. Bien plus, leur emploi lui aurait été

---

(1) Plus précisément dans l'intervalle de la période chaldaïque $6585\frac{1}{3}$. Il est presque impossible que celle-ci ait été inconnue aux prêtres égyptiens, d'après les rapports qui ont dû exister de très-bonne heure entre eux et les prêtres chaldéens, spécialement chargés des observations astronomiques à Babylone; ceux-ci même, au rapport de Diodore, n'ayant fait que les imiter : μιμουμένους παρ' Αἰγυπτίοις ἱερεῖς, καὶ φυσικοὺς, ἔτι δὲ ἀστρολόγους. Diodore, *Hist.*, lib. I, cap. XXVIII.

infiniment préférable, l'exemptant de l'incertitude causée par la réduction du méridien de Babylone au méridien d'Alexandrie, qu'il ne pouvait que très-imparfaitement connaître; tellement qu'il en a donné, dans sa Géographie et dans l'Almageste, des évaluations différentes, dont la moins inexacte est en erreur de plus d'un degré et demi. On ne peut pas dire non plus que les éclipses égyptiennes auraient été notées trop inexactement; car, dans les chaldéennes, sur lesquelles Ptolémée se fonde, on n'a que l'indication de l'heure, au plus de la demi-heure, à laquelle le phénomène a commencé. Or, il est impossible qu'une éclipse vue soit relatée d'une manière moins précise, surtout chez un peuple où la mesure du temps était établie pour le jour et pour la nuit. Si, malgré tant de motifs de préférence, Ptolémée n'a pas employé une seule ancienne éclipse égyptienne, c'est, sans aucun doute, qu'il ne pouvait pas s'en servir. Et la seule cause suffisante que l'on puisse astronomiquement concevoir à cette impossibilité, c'est le manque de dates continues pour les rattacher à son époque, puisqu'une incertitude d'énumération d'un seul jour les lui rendait absolument inutiles, quoiqu'elles ne le fussent pas aujourd'hui pour nous, si nous les connaissions même avec une indétermination bien plus étendue. S'il a été arrêté ainsi dans la réduction des éclipses qui lui auraient été si nécessaires, il a dû l'être de même dans l'emploi de toutes les autres observations qui auraient été faites anciennement par les Égyptiens; et son silence à cet égard, non-seulement ne prouve pas, mais n'indique nullement qu'ils n'en eussent point faites. En logique, deux solutions démontrées possibles excluent l'affirmation; et il est encore moins permis d'affirmer la moins vraisemblable.

Pour faire sentir l'excessive facilité avec laquelle cette interruption de dates astronomiques peut s'introduire chez les peuples dont les ères changent avec chaque souverain, et l'obstacle irrémédiable qu'elle apporte à l'emploi des observations entre lesquelles elle s'interpose, je prendrai comme exemple un calendrier encore aujourd'hui en vigueur, et qui a été soumis à cet usage pendant une longue suite de siècles : c'est celui des Chinois. En le comparant, sous ce rapport, au calendrier de l'Égypte, on verra s'y opérer incessamment, dans les dates, des interruptions pareilles, amenées par des causes qui ont dû être semblables, et dont l'influence n'a pu être qu'en partie surmontée, à l'aide d'une collection de documents historiques la plus complète du monde. Si l'on considère que la négation hypothétique que je combats est mortelle à l'étude de l'ancienne Égypte, parce qu'elle frappe à l'avance de réprobation, et taxe presque de folie, les recherches qui pourraient être les plus efficaces pour rétablir quelques jalons assurés dans sa chronologie perdue, on ne trouvera pas ce parallèle inutile, ou déplacé.

Depuis les plus anciens temps de l'histoire chinoise, deux mille ans au moins avant l'ère chrétienne, la Chine a eu un calendrier civil, fondé sur la connexion de l'année solaire, avec une année lunaire, réglée sur le cycle de dix-neuf ans. On n'y voit aucune mention de levers héliaques. Le commencement officiel de chaque année est fixé au solstice d'hiver vrai. Pendant beaucoup de siècles, l'époque de ce phénomène se déterminait en observant les plus grandes ombres méridiennes d'un gnomon vertical. Une fois qu'elle était fixée ainsi, on la transportait aux années suivantes par la période de $365^{j} \frac{1}{4}$, intercalée tous les quatre ans, jusqu'à ce

que l'écart de sa date devînt sensible ; auquel cas on la déterminait de nouveau par l'observation, et l'on y reportait l'origine du calendrier annuel. Aujourd'hui on calcule l'époque du solstice d'hiver vrai, par les tables européennes, desquelles on déduit aussi les phases vraies des lunes. Mais cet usage s'est seulement introduit depuis que la confection de l'Almanach impérial a été confiée aux missionnaires chrétiens. De tout temps, la série des années s'est comptée à partir de l'avénement de chaque souverain ; et leur énumération recommence à son successeur, comme autrefois en Égypte. Mais il y a cette différence, qu'en Chine l'année commencée est attribuée tout entière au prince qui l'a ouverte ; au lieu qu'en Égypte l'année de l'avénement appartenait tout entière au prince qui succédait. Ceci, déjà, devait introduire occasionnellement, dans les dates des observations égyptiennes, des énoncés d'années en apparence distinctes, quoique réellement identiques, que l'on ne pouvait appliquer sans erreur, et raccorder en série continue, qu'en connaissant la date précise de la mort de chaque souverain, dans l'année qu'il avait commencée. Ptolémée aurait donc eu nécessairement à faire ce travail de concordance pour chaque Pharaon, s'il avait voulu employer d'anciennes observations égyptiennes. Mais il n'aurait pu l'effectuer que sur des tableaux chronologiques, où ces détails auraient été rapportés. La règle chinoise n'a pas cet inconvénient.

Pour rendre sensible la nécessité de la restitution critique que je viens de signaler, j'en citerai un curieux exemple pris dans Ptolémée lui-même. Au commencement du livre XI de l'Almageste, il relate une opposition de Jupiter, qu'il dit avoir observée à cinq heures après minuit, entre le 20 et le 21

du mois d'athyr de la première année d'Antonin. Toutefois, lorsqu'il fit cette observation, il dut la marquer sur ses registres, à la même date de jour et d'heure, dans la vingt-deuxième année d'Adrien. Car ce prince vivait alors, et l'on était dans la vingt-deuxième année courante de son règne. Mais il mourut le 26 mésori suivant, neuf jours avant l'expiration de cette même année égyptienne. Par conséquent, on dut la lui ôter suivant la règle chronographique, pour l'attribuer à son successeur Antonin, comme le fait Ptolémée. Le nouvel énoncé de date, qu'il emploie dans son calcul, fut donc le résultat d'une rectification postérieure à cet événement. Bien plus: comme Adrien mourut à Baies, sur la côte de Naples, si la nouvelle de son décès n'était pas encore connue à Alexandrie dans les premiers jours de l'année égyptienne suivante, ce qui est fort possible, toute observation faite en Égypte, ces premiers jours-là, aurait dû être marquée à l'an 23 d'Adrien, et aurait été reportée ensuite à la deuxième d'Antonin par correction; tandis que, faite à Baies, elle aurait été appliquée immédiatement à cette deuxième année, si on l'eût exprimée de même en date égyptienne vague. Ces calculs de concordance étaient aisés pour une époque présente; mais ils auraient été beaucoup plus difficiles, quoique aussi nécessaires, pour des observations qui auraient été faites du temps des Pharaons, si, lorsque Ptolémée composait l'Almageste, il existait encore des registres continus où elles fussent consignées.

Outre ces variations d'ères, amenées par la mort des princes, il y en a eu, à la Chine, d'autres d'une nature encore plus accidentée. Depuis l'an 180 avant l'ère chrétienne, chaque souverain a pu, pendant toute la durée de son règne, créer

arbitrairement de nouvelles ères, désignées par des noms tirés de son caprice, ou des événements mémorables qui survenaient. Cela s'appelle les *nien hao*. Heureusement, les annales chinoises ont conservé la liste exacte de ces mutations; de sorte qu'on peut toujours rapporter au commencement de chaque règne chacune des années ainsi désignées.

Les empereurs ont, de plus, en différents temps, changé le rang ordinal de numération des lunes de l'année, et ils ont fait varier aussi le commencement du jour civil; mais, heureusement encore, ces mutations ont été mentionnées par l'histoire, et les énoncés divers qui en résultent peuvent toujours être rattachés à une série continue de temps.

Enfin, pour surcroît de perturbation, les princes feudataires du siége impérial ont eu aussi leurs calendriers individuels, avec des ères propres; lesquelles dépendaient, pour les années, de leur avénement au pouvoir, et des mutations ordonnées par leur caprice; pour l'énoncé des lunes, des règlements qu'ils jugeaient à propos d'instituer. Cette diversité s'est étendue aux conquérants successifs qui se sont mutuellement enlevé le trône. Ils ont voulu avoir leurs calendriers particuliers, du moment où leur pouvoir, quoique disputé encore, avait acquis quelque extension. C'était un acte de souveraineté. Toutefois, ces calendriers avaient une même contexture. Ils ne différaient entre eux que dans les époques absolues, parce que c'étaient toujours des Chinois qui les réglaient. Ces races guerrières, qui envahissaient la Chine, tenaient à honneur de s'approprier ainsi les formes du céleste empire, centre de la sagesse et de la civilisation. Pour l'Égypte, la persistance du calendrier sacré est également attestée par l'identité des désignations graphiques d'années, de mois

et de jours, sculptées sur les monuments de toutes les époques. Mais la numération ordinale des années a dû y suivre de même les accidents politiques ; c'est-à-dire qu'on a dû les compter simultanément, à partir d'ères diverses, lorsque des souverains différents exerçaient en même temps leur pouvoir sur des portions distinctes de l'Égypte, comme cela est souvent arrivé; ou encore lorsque plusieurs princes reconnus se la partageaient, comme au temps des Douze, au-dessus desquels s'est élevé Psammiticus, si toutefois cette subdivision en douze exprime réellement autant de gouvernements royaux, et non pas un état de séparation politique des douze nomes, qui aurait eu des conséquences équivalentes. Mais, à la Chine, il y a eu, dans tous les temps, des historiens contemporains qui ont pris soin de rattacher ces événements partiels au faisceau de l'histoire nationale. C'est ce qu'a fait, par exemple, Confucius dans son ouvrage intitulé *le Tchun Tsieou*, qui contient les annales particulières de douze princes du royaume de *Lou*, nominalement feudataires de l'empire, pour chacun desquels il a indiqué leurs ères propres, les règlements spéciaux de leur calendrier, et ses rapports de concordance avec le calendrier impérial; le tout accompagné d'observations d'éclipses de soleil, désignées par des caractères de jours et de lunes; de sorte que les 242 années que cette chronique embrasse peuvent aujourd'hui être fixées astronomiquement. Un travail pareil, fait sur les registres sacerdotaux des diverses portions de l'Égypte, aurait été aussi l'unique moyen de ramener toutes les dates des anciens temps à une évaluation continue et concordante, tant pour les faits historiques que pour les observations célestes. Mais peut-on assurer, ou même pré-

sumer, que ces registres auraient été toujours exactement tenus, et conservés complets, pendant toutes les révolutions auxquelles ce pays a été en proie ?

La seule institution chronologique continue qui ait existé à la Chine consiste en un cycle révolutif de 60 jours, désignés par des caractères spéciaux. C'est l'analogue des 360 noms attachés aux jours de l'année égyptienne primitive, et ensuite aux 5 épagomènes de l'année définitive qui lui a succédé. Mais on concevra aisément que ces périodes sont trop courtes, et ont des révolutions trop rapides, pour désigner des intervalles de temps dans lesquels on puisse placer les faits avec sûreté, d'après les renseignements généraux de l'histoire. Néanmoins, le cycle chinois des jours peut encore donner des limites de temps probables, et même occasionnellement certaines, quand ses indications se trouvent jointes à un énoncé ordinal de lunes pris dans un calendrier connu. Les 365 jours égyptiens ne pourraient fournir seuls une assignation équivalente que pour les événements, ou les observations, dont la date historique serait déjà fixée à moins d'une année près. Mais ils deviendraient pareillement des indices d'époques absolues, si l'énoncé du jour se trouvait associé à quelque cycle continu de lunes ; ce qu'on n'a jamais cherché à discerner sur les monuments.

Vers le temps où la dynastie des Hans réunit toute la Chine en un seul empire, et peut-être quelques siècles auparavant, les Chinois adoptèrent[1], pour leurs annales, un cycle continu de 60 années, chacune de $365^{j}\frac{1}{4}$, assujetties à l'intercalation quadriennale, désignées par les mêmes caractères déjà usités pour le cycle des jours, et marchant

concurremment avec lui. La constance de durée attribuée aux années de ce cycle a eu d'abord le grand avantage de rendre les énoncés des intervalles de temps indépendants des évaluations plus ou moins exactes de l'année solaire ; mais, en outre, l'association des deux cycles ayant une période révolutive qui embrasse 80 années juliennes, ou 29220 jours, lesquels se trouvent ainsi désignés par des indications individuelles, son emploi fixe, dans des limites d'intervalle pareils, chaque fait auquel on a donné cette double désignation. Et lorsqu'on y joint le rang ordinal des lunes, la confrontation des trois indices en fournit une vérification mutuelle, par laquelle on découvre les erreurs qui ont pu être commises en les transcrivant. L'usage du cycle des années remonte, avec certitude, jusqu'à l'an 206 avant l'ère chrétienne. Depuis cette époque, jusqu'aux temps actuels, les dates historiques des événements et des observations, relatées dans les textes chinois, sont certaines pour l'an, le mois et le jour. Alors, étant continues dans tout cet intervalle, on les confirme en remontant, par les tables solaires et lunaires modernes, aux époques où les phénomènes décrits dans les livres ont dû se réaliser; de même que nous pouvons, au besoin, vérifier, par un calcul pareil, la continuité des dates d'observations rapportées par Ptolémée à l'ère de Nabonassar. L'emploi du double cycle chinois est d'ailleurs purement chronologique, et distinct du calendrier civil, qui se règle toujours sur les mouvements vrais, plus ou moins bien évalués. La certitude de ses indications est due à l'invariabilité des périodes annuelles qui le composent. C'était un avantage qu'avait aussi l'année vague des Égyptiens.

Au delà de l'année — 206, la chronologie chinoise ne peut plus se régler astronomiquement que par des observations éparses d'éclipses, pour lesquelles les documents historiques fournissent des indications ordinales de lunes, ou des caractères pris dans le cycle des jours, ou ces deux spécifications réunies; de manière que le phénomène désigné ne puisse se reproduire, avec les mêmes conditions, qu'après des intervalles de temps qui dépassent les erreurs possibles des computations historiques. On fixerait, par le même moyen, des dates absolues d'époques dans la chronologie égyptienne, si l'on y découvrait des indications d'éclipses associées à un nom vague du jour, ou à une désignation de mois; ou encore, un simple nom de jour attaché à une phase solaire suffisamment définie par des caractères, soit physiques, soit religieux. Mais ces calculs rétrogrades ne peuvent s'effectuer qu'avec nos tables modernes. Ils étaient impraticables aux astronomes anciens, fussent-ils Hipparque ou Ptolémée. Cela peut expliquer, sinon justifier, l'oubli dans lequel ils ont laissé périr toutes les observations et les méthodes antérieures, dont ils ne voyaient point l'usage pour eux-mêmes.

Comme mon but, dans ce parallèle entre l'Égypte et la Chine, est de nous faire connaître l'inconnu par le connu, je remarquerai que l'espérance de retrouver des indications d'éclipses ou de phases solaires, sur les anciens monuments égyptiens, ne suppose nullement qu'on les y aurait notées par une intention abstraite, soit chronologique, soit astronomique. Lorsque Confucius a rapporté des éclipses de soleil dans le *Tchun-Tsieou*, il ne savait pas les calculer. Probablement même il ne prévoyait pas l'utilité qu'elles pourraient avoir un jour pour donner des dates certaines. Il les relate par fidé-

lité historique d'abord; puis surtout, comme indices du mauvais gouvernement des princes, que ces phénomènes rares et imprévus étaient supposés caractériser. Son préjugé nous sert aujourd'hui à son insu. Des motifs du même genre ne peuvent-ils pas avoir suffi pour faire relater des phénomènes pareils chez un peuple rempli d'idées astrologiques comme les Égyptiens ? Et ce soupçon si naturel ne doit-il pas nous faire rechercher avec le plus grand soin les traces qu'ils pourraient en avoir marquées sur leurs monuments ? Mais on ne l'a jamais tenté, soit parce qu'on ne sentait pas assez l'utilité de pareilles indications, soit parce qu'on ne les supposait pouvoir être suggérées que par des idées théoriques, soit enfin par l'habitude trop exclusive de rechercher uniquement l'expression des notions anciennes dans des textes écrits. Mais cette limitation n'est pas applicable à une antiquité toute figurée, comme celle de l'Égypte. A ce compte, Champollion n'aurait jamais découvert le sens physique de la notation figurée des mois égyptiens ; car, chose remarquable, aucun écrivain ancien ne l'a mentionnée, quoique personne ne veuille ou ne puisse aujourd'hui révoquer en doute la signification naturelle des symboles qui la composent.

Tout le monde sait que le plus terrible coup porté à l'ancienne histoire et à la chronologie chinoise, fut l'incendie des livres, ordonné en l'an 213 avant l'ère chrétienne, par l'empereur *Tsin-Chi-Hoang*. La chaîne qui joignait le présent au passé fut brusquement rompue par cette mesure politique, dont les effets ne furent jamais complétement réparés. Il est bien difficile de croire que l'Égypte n'ait pas éprouvé des pertes du même genre, quoique partielles, parmi tant d'invasions qu'elle a subies, de guerres étrangères ou intestines

qui l'ont ravagée ! Lorsque les pasteurs l'envahirent presque tout entière et détruisirent Thèbes; lorsque Memphis, devenue plus tard l'asile des livres sacrés, fut tant de fois attaquée et défendue, prise et reprise, les temples où on les conservait ne furent-ils jamais saccagés ? Les excès de ce genre, commis seulement par les Perses pendant les deux siècles que dura leur domination contestée, les ravages des temples, la profanation des choses sacrées, sont une des séries d'événements les plus formellement attestés par l'histoire. Hérodote le dit (1) ; Plutarque en fait foi (2); Strabon l'atteste dans les termes les plus forts (3) ; Diodore le répète en vingt endroits

---

(1) Hérodote, lib. III, *Invasion de l'Égypte par Cambyse*, du paragraphe I à XXXIX. Cet auteur ne dit point, comme on l'a prétendu récemment, que les excès de Cambyse contre les prêtres et la religion égyptienne fussent les actes intermittents d'une folie furieuse; mais il conclut qu'il devait être un insensé et un furieux, puisqu'il s'attaquait ainsi aux lois et à la religion, XXXVIII. Il confirme donc la réalité de ces excès par cette conclusion même. On a fait valoir comme une preuve de la tolérance de Cambyse envers les croyances égyptiennes, qu'il ait consulté l'oracle de Buto. C'est, en effet, ce que dit Hérodote dans ce même livre LXIV. Mais il l'avait fait pour connaître le lieu où il devait terminer ses jours, sans doute afin de prolonger leur durée en l'évitant. Et ce n'est pas le seul tyran à qui la peur ait fait consulter, pour son propre salut, les superstitions d'une religion qu'il avait persécutée.

(2) Plutarque, *De Iside et Osiride*, p. 400, édit. de Reiske.

(3) Strabon, liv. XVII, § 27. J'emprunte la traduction de ce passage à l'édition de Leipsick, 1811, in-8°. Il s'agit de la ville de Bubaste. *Nunc,* dit l'historien, *nunc omnino urbs deserta est : habet autem pervetustum templum, ægyptio more constructum, quod multis manifestis indiciis Cambysis insaniam, ac sacrilegia, demonstrat ; qui templa, partim igni, partim ferro devastavit, mutilans, exscindens, comburens.*

de son ouvrage. Cette œuvre de destruction, commencée par Cambyse, momentanément suspendue sous quelques-uns de ses successeurs, fut poursuivie et achevée avec une nouvelle fureur par Artaxerxès Ochus. Ce tyran, le plus cruel, dit Plutarque, qui ait jamais existé, pilla à fond les temples, les dépouilla de leurs richesses, enleva les livres sacrés, non pas à Memphis seulement, mais dans toute l'Égypte (1). A la vérité, son favori Bagoas rendit peu après aux prêtres ces antiques documents, pour une somme d'argent considérable. Mais qu'on se figure ce que dut être une pareille restitution, à la suite d'un pillage de soldats de ce temps ! Nous en pouvons juger par ce qui est arrivé d'analogue de nos jours, dans notre Europe civilisée et dans notre pays même. Des archives étrangères avaient été enlevées avec autant d'ordre que si c'eussent été des trésors ; elles ont été restituées avec une intention

---

(1) Diodore, Hist., lib. XVI, § 51. Voici la traduction de ce passage, que j'emprunte à l'édition donnée par Wesseling : *Interim Memphi subsistens Nectanebos, ubi hostium (scilicet Persarum) expeditos progressus vidit, discrimini, pro conservando imperio, sese objicere non audebat. Sed, spe regni abjecta, et convasatis plerisque thesauris, in Æthiopiam exsulatum abibat. Artaxerxes itaque totam Ægyptum occupat; oppidorum maxime nobilium mœnia destruit, fanisque exspoliatis, ingentem vim auri argentique coacervat. Commentarios denique ex templis antiquis secum asportat* (τῶν ἀρχαίων ἱερῶν ἀναγραφάς). *Quos tamen Bagoas, aliquanto post, grandi pecuniæ summa, sacerdotibus concessit.* Les nombreux passages de Diodore sur les excès commis par les Perses envers la religion égyptienne, se résument dans le suivant liv. XVII, § 49, où il dit que ce fut la cause qui détermina les Égyptiens à recevoir volontiers la domination d'Alexandre. *Nam quod Persæ multa nefarie in sacra commiserant, et violenter imperitarant, animo lubente Macedones recepere.*

sincère d'intégrité: pourtant des documents précieux ont disparu ! Faites la différence des circonstances et des résultats ! Mais, pour nous, la conséquence du fait n'est pas la même. Aujourd'hui, un document écrit, appartenant aux temps modernes, n'a, dans l'histoire, qu'une valeur locale, limitée à la place qu'il occupe. Supposez-le inédit et unique : sa suppression occasionnera une lacune; mais elle ne rompra point la continuité des dates entre ce qui précède et ce qui suit. Cela tient à ce que nous avons une ère fixe, à partir de laquelle nous datons les événements, et assignons à chacun sa place temporaire absolue, indépendamment des autres. Anéantissez par la pensée tous les documents historiques et astronomiques des cinquante dernières années du XVIIIe siècle, ce sera sans doute une perte immense. Toutefois, la chaîne de l'énumération des temps s'étant continuée sans rupture dans cet intervalle, nous pourrons encore rattacher à notre époque les faits et les observations antérieurs, les y rattacher jour pour jour, et les employer dans nos computations d'aujourd'hui. Une dynastie tombe, une autre la remplace; 1831 succède à 1830 : la notation du temps ne dépend pas de cet accident politique. Les registres des observatoires n'en seront pas affectés, ils ne le mentionneront point; et l'on n'aura pas à en tenir compte pour coordonner les événements qui s'y trouveront exprimés. Il en était autrement chez les anciens peuples, dont les ères se renouvelaient à chaque souverain. Supprimez la connexion exacte d'un seul règne avec le précédent ou le suivant; suspendez seulement le renouvellement de l'ère pendant un interrègne dont la durée ne sera pas rigoureusement assignée : il en résultera une rupture complète entre le passé et l'avenir. Les observations astronomiques an-

térieures, s'il en existait, n'auront plus de dates certaines; elles ne pourront plus être employées comme éléments de théories. Qu'aurait-il servi à Ptolémée de trouver dans une ancienne chronique, ou de voir sur un tableau sculpté, que l'équinoxe vernal aurait été fixé au 1er Pâchon vague, dans telle année de Ramsès Meiamoun, s'il n'avait pas pu lier cette année-là, par une computation exacte de jours, au temps d'Antonin? La mention de ce fait lui aurait été complétement inutile. Mais il serait pour nous aujourd'hui d'une importance extrême, même quand on n'aurait indiqué sur le monument que la coïncidence du phénomène astronomique avec tel jour désigné de l'année vague, sans spécifier l'année du prince. Car, avec le secours de nos tables astronomiques actuelles, cette simple concordance suffirait pour nous donner une date absolue de temps.

Je reprends mon parallèle. *Tsin-Chi-Hoang* ne survécut que deux ans à son ordre de destruction. Mais ces deux années, et huit autres de convulsions intérieures, qui suivirent jusqu'à l'expiration de sa dynastie, consommèrent presque entièrement la perte de l'ancienne histoire chinoise, des connaissances astronomiques et des anciennes observations. C'est l'équivalent, ou l'analogue, des destructions qui durent être opérées en Égypte par les invasions des pasteurs et des Perses, du moins telles que les historiens les racontent. Aussitôt que la dynastie des Hans, qui succéda, fut arrivée au pouvoir, elle s'efforça, autant qu'elle le put, d'atténuer ce mal irréparable. Des historiens et des astronomes, aussi habiles que ce premier moment de restauration intellectuelle pouvait en produire, furent chargés de rechercher dans tout l'empire les débris du passé, et d'en reconstruire l'édifice.

Toutes les dynasties suivantes, tant indigènes qu'étrangères, se firent un honneur de continuer, de compléter cette œuvre nationale. De là sont sortis, depuis dix-huit siècles, un nombre immense de documents traditionnels, de travaux chronologiques, et d'ouvrages de critique, relatifs aux anciens temps. Mais si, par tant d'efforts, on est parvenu à y rétablir une liaison certaine pour l'ordre de succession des princes, jusqu'à des époques très-reculées, personne n'oserait dire qu'elle le soit toujours pour l'année, encore moins pour le jour de leur avénement. Les seuls jalons assurés qu'on ait pu jeter par intervalle sur cet espace, résultent de quelques observations d'éclipses que l'on a trouvées accompagnées d'un nom ordinal de lunes, ou d'un caractère pris dans le cycle des jours, outre l'indication de l'année du prince. Encore l'astronomie perfectionnée des temps modernes a-t-elle pu seule effectuer ces computations rétrogrades; et, pour toutes les époques intermédiaires, aucune observation retrouvée, qui n'aurait pas ces caractères indicateurs, ne pourrait plus être calculée, même aujourd'hui; à moins que l'élément astronomique qu'elle concerne n'eût des variations si lentes, que sa valeur dût à peine changer dans les intervalles d'indétermination que les computations chronologiques comportent. C'est ainsi qu'on a pu employer quelques résultats de *Tcheou-Kong* pour vérifier les variations de l'obliquité de l'écliptique et de la précession, indiquées par nos théories modernes, quoique la date absolue de ce prince astronome soit à peine assignable à soixante ans près. Mais ces applications scientifiques ne resserrent pas les incertitudes de la chronologie, devenues irrémédiables par la discontinuité des anneaux qui la composent.

Voilà tout ce qu'on a pu faire pour la Chine. Voyons quels ont été, pour l'ancienne Égypte, les travaux d'érudition et de critique analogues à ceux-là. Très-peu sont arrivés jusqu'à nous; mais nous pouvons du moins apprécier leur caractère général par ce qui nous en est parvenu, ou par les mentions occasionnelles qu'on en a faites. Ce ne sont plus, comme à la Chine, des œuvres de critique collective, suivies pendant des siècles par des écrivains nationaux, pour restaurer l'histoire exacte de leur pays. Ce sont d'abord des récits de voyages faits par des Grecs qui ont visité l'Égypte, et qui en décrivent l'état physique, les lois, les mœurs, les traditions, tels qu'ils les ont ouï raconter : puis, comme chronographie spéciale, l'ouvrage unique d'un prêtre égyptien, composé tardivement par l'ordre d'un souverain grec, pour lequel l'Égypte était un héritage de conquête, non pas une patrie adoptée. De tels documents ne nous laissent voir l'ancienne Égypte qu'à travers le prisme des idées ou des exigences étrangères. Sans doute on jugerait mal le travail de Manéthon par les fragments incohérents et incomplets que nous en ont transmis les écrivains postérieurs, qui les dénaturaient pour les accommoder à leurs systèmes. Si l'on fait abstraction de la partie fabuleuse, où les règnes des dieux et des héros sont cependant relatés en années comme les règnes réels, on reconnaît plus évidemment tous les jours que l'énumération de ceux-ci est généralement conforme aux séries des cartouches royaux, que nous pouvons aujourd'hui retrouver et interpréter. Mais ces monuments, répartis sur les diverses parties de l'Égypte, attestent seulement l'existence absolue et l'ordre des princes dans les mêmes familles, sans marquer leurs intervalles, non plus que les époques simultanées ou successives de leur do-

mination. Manéthon ne fait pas non plus cette distinction importante dans les fragments qui nous restent de lui. Toutefois, parmi les trente dynasties qu'il énumère, plusieurs ont dû être, au moins partiellement, contemporaines, ne fût-ce que celles des pasteurs, et des rois indigènes qui leur résistaient. Ces détails n'auraient pu se conclure que d'anciens registres sacerdotaux, où ils auraient été consignés. A la vérité, Champollion a découvert, dans les papyrus du musée de Turin, des débris d'une chronologie pareille, commençant aussi aux règnes des dieux, et descendant jusqu'à la treizième ou la quatorzième dynastie, avec des intervalles de temps exprimés en années, mois et jours. Mais, quand même on ajouterait une foi entière à de semblables documents, malgré les fables qu'on y voit associées, peut-on croire qu'au temps de Manéthon ils existassent complets, continus, sans lacunes, jusqu'à Ptolémée Philadelphe, après tant de révolutions que l'Égypte avait subies et que j'ai plus haut rappelées? Il est bien plus vraisemblable que Manéthon s'est principalement fondé sur les monuments royaux pour établir l'ordre de succession des princes, et qu'il a espacé de son mieux leurs intervalles, tant d'après les restes de registres sacerdotaux qu'il a pu retrouver, que par des approximations chronographiques, comme on l'a fait chez tous les peuples pour la portion la plus reculée et la plus incertaine de leur histoire. Il y a loin de là à une chronologie rigoureusement datée, à laquelle on puisse rattacher des observations astronomiques, ce qui est le point spécial de la question que je traite; et encore, un tel raccordement ne peut être effectué qu'en appliquant les observations de chaque époque, conformément aux conventions chronographiques admises dans la répartition des temps

de chaque prince auquel les registres les attribuent. Cela exige un second travail de concordance tout aussi difficile que le premier, et qui ne peut en être indépendant, puisqu'il doit reposer sur les mêmes principes. Ptolémée est parvenu à faire ou à se procurer un travail de ce genre, pour la série des souverains babyloniens, perses et grecs, depuis l'époque de Nabonassar, 747 ans avant l'ère chrétienne; et il y a rattaché, par des concordances de jours non interrompues, les dates de toutes les observations chaldéennes ou grecques dont il a fait usage. C'est ce qu'on appelle le *Canon des rois*. Mais, quoique la continuité des éléments numériques dont ce document se compose ait dû être très-difficile à établir, il y avait bien moins d'obstacles à vaincre pour l'opérer, qu'on n'en aurait eu à faire un travail analogue pour les dynasties égyptiennes, parce que la chaîne qu'il fallait reconstruire se composait d'anneaux moins disjoints et mieux conservés. En effet, Bérose avait traduit en grec les livres d'histoire et d'astronomie des Chaldéens. Les observations astronomiques, toutes faites en un même lieu, à Babylone, étaient rattachées par des dates aux années de leurs rois, avec mention des courts intervalles d'interrègne. Lorsque cette ville passa sous la domination des Perses, au temps de Cyrus, non-seulement les anciens registres ne furent pas détruits, mais les colléges des prêtres observateurs y furent maintenus en exercice, puisque Ptolémée a employé trois éclipses qui furent observées par eux postérieurement, une sous Cambyse, et deux sous Darius I[er]. Il a donc pu, non-seulement consulter l'ouvrage de Bérose, mais, au besoin, en vérifier les détails dans les sources originales, ou dans d'autres recueils. Car les seules éclipses chaldéennes qu'il relate étant toujours dans les con-

ditions qui lui étaient spécialement nécessaires pour établir tel ou tel élément de ses théories, il est impossible qu'il ne les ait pas extraites d'un grand nombre d'autres dont il ne parle point, mais qui, devant être datées de même que celles-là, ont pu lui servir pour constater la continuité des intervalles temporaires auxquels on les avait affectées. L'existence de ces documents auxiliaires, qu'il ne nous a pas transmis, est attestée implicitement par lui-même dans le chapitre X de son IV[e] livre, où il dit que les trois éclipses chaldéennes employées par Hipparque, *ont été choisies entre celles qui avaient été rapportées de Babylone en Grèce*. Qu'il se soit fondé aussi sur l'ouvrage de Bérose, cela se voit par les fragments de cet écrivain qui sont rapportés dans Eusèbe; car les noms des rois chaldéens qui s'y trouvent mentionnés, depuis Nabopolassar, le père du Nabuchodonosor de la Bible, jusqu'à Cyrus, sont précisément les mêmes que dans Ptolémée, avec les mêmes intervalles de temps (1). La série ainsi établie depuis Nabonassar, où commençait la partie historique de Bérose, était donc simple et sans divergences. Une fois arrivé, par cette voie, aux souverains perses, contemporains des annales grecques, la continuité des dates devenait moins difficile à effectuer avec sûreté. Il fallait seulement démêler, dans les histoires écrites, les empiétements des ères propres aux divers princes qui avaient exercé le pouvoir successivement ou en compétition, avec des alternatives de succès et de revers, comme au temps d'Épiphane et de Philométor. Puis, après avoir fait à chacun sa part convention-

(1) Eusèbe, *Chronique*, lib. I, cap. XI, p. 30, édit. de Zohrab.

nelle de temps, il fallait rattacher les observations astronomiques de leur époque et des suivantes à cette convention, sans erreur d'un jour. Voilà l'immense travail d'érudition, de calcul et de critique qu'il a fallu effectuer, pour construire ce monument chronologique, unique dans l'histoire de l'Occident, que l'on appelle le *Canon des rois;* travail qui a dû être commencé par Hipparque, puisqu'il a employé aussi des éclipses chaldéennes, et que Ptolémée a conduit jusqu'au premier Antonin, sans toutefois en faire aucune mention dans l'Almageste, où il l'emploie sans cesse. La main de ces deux grands hommes y est tellement marquée, qu'on a pu à peine, et non déjà sans incertitude, le prolonger jusqu'à Dioclétien, depuis lequel il n'offre plus aucune sûreté, toujours par les empiétements des ères simultanées propres aux compétiteurs qui se disputaient ou se partageaient l'empire. Maintenant, si l'on considère qu'une œuvre pareille, relative aux dynasties égyptiennes, aurait été indispensable à Ptolémée, s'il avait voulu employer d'anciennes observations faites en Égypte; qu'elle eût été rendue beaucoup plus difficile par les nombreuses disjonctions de ces dynasties, par les vicissitudes de leurs compétitions, par la diversité des lieux où elles avaient établi le siége de leur puissance, et très-probablement par la disparition, au moins partielle, des documents nécessaires pour les rallier en une seule série continue, on concevra que toutes celles de ces observations dont il pouvait rester des traces lui devenaient complétement inutiles par le manque de jonction avec son temps. Ainsi, tout en regrettant qu'il n'en ait point parlé, nous ne devons pas inférer de son silence qu'on n'en eût point fait, ou qu'elles fussent trop défectueuses pour valoir la peine d'être calculées; pas plus que

nous ne devrions dire qu'apparemment les Chaldéens n'ont observé que des éclipses de lune, parce que Ptolémée ne mentionne d'eux aucune éclipse de soleil. Car, selon son usage trop général, il lui a suffi, pour ne rien dire de ces dernières, que les difficultés de calcul, occasionnées par les parallaxes, l'empêchassent de s'en servir. Par la même raison, de ce que la plus ancienne éclipse chaldéenne qu'il emploie remonte seulement à la première année de Mardocempal, la vingt-septième de la série qu'il fait commencer à Nabonassar, nous n'en devons pas conclure qu'il n'y en eût point d'antérieures à cette époque dans les registres des Chaldéens, ni traiter de fable la collection d'observations bien plus anciennes que l'on dit avoir été envoyée à Aristote par Alexandre. Car, pour que Ptolémée ne les ait pas mentionnées, il suffit qu'il n'ait pas pu les rejoindre à Nabonassar par des intervalles de temps certains, c'est-à-dire qu'il n'ait pas pu faire remonter son canon chronologique au delà de ce prince. Or, précisément Eusèbe et le Syncelle rapportent, d'après Bérose, que c'est seulement à partir de Nabonassar qu'on a pu rattacher les règnes des rois chaldéens en une série continue de temps (1).

Ici se présente une question qui va tout à l'heure avoir son application pour l'Égypte. On peut demander pourquoi Ptolémée n'a pas employé un seul équinoxe ni un seul solstice observés par les Chaldéens, quoique le système général d'observations qui se faisaient à Babylone n'ait pu manquer

---

(1) Eusèbe, *Chronique*, cap. I, p. 5, édit. de Zohrab. Le Syncelle, *Chronographie*, t. I, p. 390, édit. Dindorf.

de s'étendre à ces phénomènes, puisque c'est nécessairement au mouvement du soleil que se rapportent les disparitions et les réapparitions des planètes, dont les prêtres chaldéens faisaient un si grand usage pour leurs prédictions astrologiques? La réponse est encore très-facile : Ptolémée n'aurait eu aucun intérêt à se servir de ces observations. En effet, dans son chapitre sur la longueur de l'année, il rapporte un passage d'Hipparque où ce grand observateur confesse que les solstices observés par lui et par Archimède pourraient bien être en erreur d'un quart de jour. Ses observations d'équinoxes devaient être beaucoup plus exactes, ou du moins elles devaient être estimées telles par Ptolémée. Attribuons-leur, par exagération, cette même limite d'incertitude présumable. Ptolémée compare ces équinoxes à ceux qu'il dit avoir observés lui-même 285 ans après. Maintenant, admettons que les Chaldéens auraient pu déterminer ces phénomènes avec une incertitude d'un jour, ce qui est la même limite, très-acceptable, que j'ai supposée chez les Égyptiens. Pour qu'un équinoxe chaldéen, ainsi défini, donnât la durée de l'année aussi exactement qu'une observation d'Hipparque, il aurait fallu qu'il fût quatre fois plus distant, c'est-à-dire qu'il remontât à 1140 ans avant Antonin, deux siècles et demi au delà de l'époque où Ptolémée a pu étendre le canon des rois. Il a donc eu toute raison de dire, non pas qu'on n'eût point fait anciennement de telles observations, ce ne sont pas ses paroles, mais qu'il se borne à employer *celles qui sont les plus exactes parmi les plus anciennes* (1). C'est ainsi que nous-mêmes aujourd'hui,

(1) Ptolémée Almageste, lib. III, cap. II, *De la grandeur de l'année.*

pour construire nos tables du soleil, nous employons des équinoxes observés par Bradley, il y a seulement un siècle, préférablement à ceux de Ptolémée ou d'Hipparque, dont nous ne tenons aucun compte, parce que leur ancienneté de 2000 ans ne compense pas leur défaut relatif de précision. Ptolémée n'aurait pu employer utilement un équinoxe égyptien, que s'il lui eût été antérieur dans les mêmes limites de temps que nous venons de fixer pour les observations chaldéennes; et alors il lui aurait été encore plus difficile, sinon impossible, de le rattacher au temps d'Antonin par dates continues.

Sans doute, dans notre esprit de critique moderne, ce motif d'inutilité actuelle n'aurait pas dû suffire, pour laisser ignorer à la postérité jusqu'à l'existence de ces premiers essais, par lesquels l'astronomie observatrice a commencé, soit en Chaldée, soit en Égypte. Mais cela était tout à fait conforme aux habitudes grecques. L'ouvrage de Ptolémée est rempli de ces réticences déplorables. Son plan est purement systématique, non historique. Il s'y renferme avec une invariable abstraction. Il nous faut donc deviner le passé qu'il nous tait, par sa connexion nécessaire avec ce qu'il rapporte, et ne pas inférer de son silence que ce passé n'existât point. Il ne cite pas une seule éclipse de soleil. Est-ce à dire qu'on n'en avait jamais vu ni observé? Quand il rappelle la période luni-solaire de $6585^{j}\frac{1}{3}$, qui accordait toutes les particularités des mouvements de la lune et du soleil, avec une précision qu'Hipparque a eu seulement à compléter, il la donne comme un fait anciennement reconnu, sans même en indiquer l'origine. Mais notre expérience nous apprend, sans qu'il nous le dise, qu'un

nombre aussi complexe, aussi précis, et qui accorde des éléments si divers, n'a pu être obtenu sans théorie mathématique que par des observations continûment suivies, pendant beaucoup de siècles, sur les mouvements des deux astres; et que sa détermination a exigé la connaissance des plans distincts dans lesquels ils se meuvent, la mesure de leurs révolutions périodiques, et la découverte du mouvement des nœuds de l'orbe lunaire. Parce que Ptolémée n'explique point ces particularités, il n'en est pas moins certain qu'elles ont été indispensables pour trouver le nombre qu'il énonce, et qu'ainsi elles ont été connues longtemps avant lui. Le même argument s'applique aux équinoxes, aux solstices et aux éclipses, qui ont pu être observés en Égypte. Le silence de Ptolémée sur ces divers points n'autorise nullement à dire que les Égyptiens n'auraient pas fait des observations si simples, et qui leur étaient si particulièrement nécessaires, contrairement au témoignage unanime des auteurs anciens, qui représentent leurs prêtres comme voués par spécialité à l'étude du ciel; et j'ajouterai aussi, contrairement à la croyance de tant de personnages célèbres de l'antiquité, la plupart géomètres ou astronomes, qui ont entrepris le voyage d'Égypte exprès pour y aller puiser ce genre de connaissances. Il faut tirer des considérations précédentes, et même du simple bon sens, la conséquence inverse : c'est-à-dire qu'on avait fait sans doute autrefois, en Égypte, de pareilles observations dont Ptolémée n'a rien dit, parce qu'elles lui ont été inutiles, mais qui deviendraient très-utiles pour nous aujourd'hui, si nous pouvions en retrouver les traces, parce que nous saurions en tirer des éléments de dates absolues, que nous placerions comme autant de jalons assurés dans les

longs intervalles de la chronologie égyptienne, ainsi qu'on l'a fait pour la chronologie chinoise. De tels éléments peuvent s'obtenir, non-seulement d'après des indications d'éclipses qui seraient relatées dans des papyrus, ou marquées sur les monuments; mais même par la simple concordance de phases solaires, figurées concurremment avec des dates vagues de jour, comme j'ai cherché à le faire pour l'époque de Ramsès Meiamoun. Qu'on ne rejette donc plus dans le domaine des fables, et des idées fantastiques, les signes figuratifs de constellations solsticiales et équinoxiales que l'on a cru retrouver dans les tombeaux des anciens rois égyptiens. Car, d'abord, j'ai montré combien il était facile et naturel de fixer ces principales phases solaires par l'observation. Puis leur représentation, et leur consécration par des figures, étaient tout à fait conformes au symbolisme de la religion égyptienne. Enfin, celles que nous trouvons toujours ainsi associées ensemble, avec des caractères stellaires indubitables, dans des tombeaux de Pharaons, ce sont précisément les mêmes que nous voyons, plus tard, employées chez les Grecs pour désigner ces mêmes phases solaires, sans que nous ayons aucun indice qui puisse nous apprendre s'ils les ont imaginées, ou s'ils les ont empruntées aux Égyptiens. Sans doute, ce ne sont là jusqu'à présent que des analogies, qu'il faut suivre comme un soupçon, plutôt qu'admettre comme des vérités établies. Mais il n'y a aucun motif, aucune autorité, pour les supposer impossibles ou invraisemblables. La négation serait beaucoup plus hypothétique que l'affirmation. Quant à la difficulté que les Égyptiens auraient eue à observer très-anciennement les phases solaires, je crois l'avoir suffisamment réfutée. Mais le contraire pourrait encore s'in-

férer, pour eux, du témoignage de Ptolémée lui-même. En effet, dans le chapitre VII du XIII[e] livre de l'Almageste, qui traite des disparitions et des réapparitions des planètes, lorsqu'elles s'engagent dans les rayons du soleil ou qu'elles s'en dégagent, il dit expressément qu'il va établir le calcul de ces phénomènes pour le climat où le plus long jour est de $14^h \frac{1}{2}$, parce que c'est sous ce parallèle, ou sous des parallèles peu distants, que les observations les plus nombreuses et les plus exactes (πλεῖσται καὶ ἀξιόπιστοι) en ont été faites, savoir, ajoute-t-il, *en Chaldée, en Grèce et en Égypte*. Or, aucun astronome n'admettra que, dans un pays où l'on suivait ainsi, assidûment, les mouvements des planètes, on eût oublié, ou omis, d'observer ceux du soleil auquel on les rapportait. Le texte et les calculs de Ptolémée rattacheraient même ces observations à des notions de l'écliptique et du zodiaque, qui semblent y être inévitablement liées. Mais je ne veux, ni n'entends ici, attribuer ou refuser aux anciens Égyptiens de pareilles notions, parce que cette alternative est inutile à décider, pour mettre en usage les simples indications astronomiques que leurs monuments pourraient nous fournir, et sur lesquelles je me suis surtout proposé d'attirer l'attention que l'on a voulu en éloigner. Si je l'ai fait avec tant de détail et d'insistance, c'est parce que cette voie, que j'ai cherché à ouvrir, me paraît être presque la seule par laquelle on puisse arriver à renouer quelques anneaux de l'antique chronologie égyptienne, en cherchant sur les monuments autre chose que cette continuelle répétition de formules honorifiques, ou d'offrandes religieuses, que l'on s'est borné à y voir.

TROISIÈME PARTIE.

Je viens de montrer que les Égyptiens ont pu, dès la plus haute antiquité, déterminer des époques absolues d'équinoxes et de solstices, entre des limites d'erreur d'un, ou au plus, de deux jours, non-seulement par des procédés d'une simplicité que l'on pourrait justement appeler primitive, mais par l'aspect même de ce grand gnomon des pyramides, dont les indications se sont reproduites constamment pendant tant de siècles, avec une telle évidence qu'on saurait à peine concevoir qu'ils ne les eussent pas aperçues. J'ai montré aussi comment le même mode d'observation, je dirais volontiers de contemplation, a dû leur donner directement la période solaire de $365^{j}\frac{1}{4}$. La connaissance de ces résultats a pu précéder de beaucoup l'adoption des 365 jours, dans leur calendrier définitif. Car le déplacement de la période primitive de 360 jours, dans les phases solaires, étant une fois accepté, et chacun des jours qui la composaient étant consacré par un symbole religieux, comme leur antique notation l'atteste, elle était tout aussi bonne, pour leur usage, que celle de 365. L'introduction de celle-ci n'a eu pour eux d'autre avantage que de ramener plus commodément la restitution des lunes, après des intervalles réguliers de 25 années nouvelles. Il est donc naturel qu'on l'ait faite pour ce but, à une époque, celle de — 1780, où la notation consacrée

a concordé si extraordinairement avec les phases solaires, avec l'état physique de l'Égypte, et avec la distribution des lunes la mieux adaptée aux usages civils, ainsi qu'aux rapports religieux. Dans ce système d'idées, l'adoption de l'année de $365^{j}\frac{1}{4}$, intercalée, ou non intercalée aurait été non pas seulement inutile, mais inadmissible, parce qu'elle eût été essentiellement contraire à l'esprit de la religion. En effet, devant être alors supposée la mesure exacte de la révolution du soleil, elle aurait fixé invariablement, et attaché à une même phase solaire, les noms divins des jours, ainsi que les cérémonies qui s'y rapportaient; au lieu que le principe religieux, antérieurement établi, exigeait que ces noms et ces cérémonies se transportassent progressivement dans toutes les saisons, pour les sanctifier par leur concours successif. C'est précisément cette destruction de la valeur des noms divins que Jamblique reproche à l'année alexandrine, devenue fixe. J'ai prouvé en outre que les anciennes déterminations d'équinoxes et de solstices qui auraient été faites par les Égyptiens, ont dû être inutiles à Ptolémée, parce qu'en raison de la haute antiquité d'où il aurait fallu les rappeler pour compenser leurs incertitudes, il n'aurait pas pu les rattacher à son temps par des dates continues de jours. Ainsi, dans cette restitution rétrospective des faits astronomiques et historiques relatifs aux Égyptiens, ceux qui dépendent de l'observation ont été réalisables pratiquement avec la plus grande facilité; et ceux qui supposent une discontinuité dans les documents résultent, par une nécessité presque inévitable, de l'état politique du pays, du mode de notation des temps, et des témoignages de l'histoire. Tout se tient et s'enchaîne naturellement. Voyons à présent ce que

les levers héliaques de Sirius, tant célébrés chez les Égyptiens, et même symbolisés sur leurs monuments, ont dû ajouter à cet ensemble; comment ils ont dû s'y associer; s'ils ont pu être employés comme indices d'époques absolues; et si l'ancienneté de la période sothiaque, qui, selon Fréret et tant d'autres personnes érudites, leur attribuerait la continuité de ce caractère d'époques pendant quinze ou même vingt-huit siècles, est ou n'est pas compatible avec les résultats précédents. C'est ce que nous allons décider, non par des aperçus vagues, mais par l'examen des conditions réelles, et pratiques, d'après lesquelles ces apparitions peuvent être saisies et fixées.

Il faut d'abord distinguer deux choses que l'on confond presque toujours, quoique la difficulté de les obtenir soit bien différente. La première, c'est la période annuelle du phénomène, ou la détermination du nombre de jours qui ramenait le lever héliaque sur l'horizon d'un même lieu. La seconde est la fixation absolue du jour où le lever s'opérait dans une année désignée. Pour apprécier la nature distincte de ces deux éléments, il faut savoir comment l'un et l'autre peuvent se conclure d'observations faites à la vue simple.

Le plus facile à obtenir est la période. Sa durée mathématique comprend $365^j\frac{1}{4}$. On l'évalue progressivement par des approximations successives, en comptant le nombre moyen de jours après lequel le phénomène se reproduit évidemment. L'appréciation de ce nombre est d'abord très-vague, parce que chaque réapparition ne peut pas être fixée d'une manière précise comme une éclipse, ou comme l'illumination instantanée de la face boréale des pyramides. On ne peut la saisir, même avec beaucoup d'attention, qu'entre des limites d'in-

certitude de plusieurs jours. Néanmoins, quelques années d'observation font d'abord voir que la période des retours surpasse 360 jours complets. Admettant provisoirement cette évaluation, sa brièveté relative se manifeste par les observations ultérieures. En effet, le retour réel du phénomène retardera continuellement sur son retour ainsi calculé. Si l'on pouvait le saisir avec rigueur, ce retard serait de 21 jours après quatre levers consécutifs, conséquemment de 210 jours après que le phénomène se serait reproduit quarante fois. Un fait si frappant ne peut se méconnaître. Supposez, en somme, six jours d'erreur sur l'appréciation absolue des deux époques extrêmes, ce qu'aucun astronome ne trouvera exagéré. Après quarante apparitions, le retard, imparfaitement estimé, se trouvera de 204 jours ou de 216, ce qui donnera pour évaluation plus approchée de la période $365^j\frac{1}{4} \pm \frac{3}{20}$. Après 80 apparitions, en admettant toujours les mêmes limites possibles d'erreur, on trouvera $365^j\frac{1}{4} \pm \frac{3}{40}$; après 120, $365^j\frac{1}{4} \pm \frac{3}{60}$, et ainsi de suite. Alors, en voyant toujours la fraction additionnelle à $\frac{1}{4}$ progressivement s'éteindre, on la jugera négligeable, comme les anciens ont toujours fait dans l'appréciation de leurs périodes astronomiques, et l'on adoptera finalement, pour celle-ci, $365^j\frac{1}{4}$ juste. Mais on ne pourra arriver à cette certitude qu'après au moins un siècle et demi ou deux siècles d'observations spéciales, continuées ainsi avec une attention persévérante, sans interruption de dates, dans un même lieu. Encore, pour les restreindre à cet intervalle de temps, il faudra supposer qu'elles auront été faites simultanément par plusieurs observateurs, afin d'avoir un résultat moyen applicable à une acuïté de vue constante. Car si l'on admettait des inégalités

de perception, telles que la vue humaine en comporte dans des individus différents, l'erreur relative des limites extrêmes pourrait devenir beaucoup plus grande que je ne l'ai supposée, et alors il faudrait beaucoup plus de temps pour l'éteindre.

Voilà le seul procédé pratique qu'on ait pu employer, pour connaître, *dans le moindre temps possible,* que les levers héliaques de Sirius revenaient, sur l'horizon d'un même lieu de l'Égypte, après $365^j \frac{1}{4}$. On ne saurait le simplifier ni l'abréger. Si l'on a opéré avec moins de méthode, ce qui est bien probable, il aura fallu une série d'observations bien plus longue, pour constater, dans les retours d'un phénomène aussi vague, la fraction de jour. En tout cas, on voit que cette détermination est absolument indépendante de la durée de l'année solaire, avec laquelle la période des levers héliaques n'a qu'un rapport fortuit, lorsqu'on les considère sans théorie, comme l'ont fait nécessairement les anciens Égyptiens. L'intervalle de temps qui les ramène a donc pu être reconnu, indifféremment, avant ou après qu'on eut constaté que le même nombre de jours, $365 \frac{1}{4}$, ramenait aussi les phases solaires. Il est néanmoins très-présumable que la période de ces phases a été trouvée d'abord, parce qu'elle est bien plus facile à déterminer par l'observation. Il serait fort possible que ces deux résultats numériques eussent été pratiquement constatés par les Égyptiens, bien avant l'époque où ils abandonnèrent l'année de 360 jours, que leur antique notation retrace, pour adopter celle de 365. La supposition trop souvent faite, qu'on n'a pu trouver la fraction additionnelle $\frac{1}{4}$ qu'après cette adoption, et que l'année vague de 365 jours est une preuve d'ignorance, tient au préjugé

d'habitude, selon lequel on se figure généralement que la période de $365^j \frac{1}{4}$, dont nous nous servons, est un progrès, un perfectionnement considérable de celle de 365; tandis qu'elle est en réalité beaucoup moins commode pour la computation des temps. Et l'avantage que nous lui trouvons de fixer les phases solaires à un même jour du calendrier, aurait particulièrement répugné aux Égyptiens par son opposition aux institutions religieuses primitivement établies. Mais en cela, comme en beaucoup d'autres choses, nous jugeons d'après nos usages et nos origines. Nous sommes avant tout Romains ou Grecs, par éducation et par héritage.

La connaissance de la période des levers héliaques de Sirius, antérieurement à l'adjonction des épagomènes, semble démontrée par la relation que les Égyptiens avaient établie entre le premier mois de leur année vague, et la déesse Isis ayant pour attribut cette étoile, avec laquelle elle est désignée sous le nom d'*Isis Thot* sur leurs plus anciens monuments. L'association des deux idées s'offrait en effet très-naturellement, lorsque l'année de 360 jours était en usage. Car il était facile d'apercevoir que le premier jour de thot y redevenait héliaque après de courtes alternatives, comprenant seulement 69 ou 70 de ces années, ce qui donnait immédiatement $365^j \frac{1}{4}$ pour la période du phénomène, comme je l'ai tout à l'heure expliqué. Rien n'était donc plus naturel et plus conforme au symbolisme égyptien, que de signaler ces concordances fréquentes et remarquables par une consécration religieuse, exprimée figurativement. Mais l'idée de cette association aurait dû naître et se réaliser bien plus difficilement après l'adjonction des épagomènes. Car, dans l'année de 365 jours, le thot n'est redevenu héliaque qu'à des

époques distantes entre elles de 1461 années vagues, dont la date numérique répond aux deux seules années juliennes 1322 et 2782 avant l'ère chrétienne, si l'on ne veut pas remonter plus haut que cette dernière limite. Or, d'après ce que je crois avoir établi plus haut, l'époque de 1322 étant seule postérieure aux épagomènes, ce serait à elle que l'application religieuse aurait pu être faite dans cette forme d'année, soit par l'observation actuelle de la concordance qui s'y réalisait, soit par prévision à quelques siècles de distance. Mais cette date unique est aussi beaucoup trop tardive, comparativement à l'établissement complet du culte égyptien, pour que l'on puisse présumer qu'une telle application aurait été introduite alors. La fréquence des thots héliaques, dans l'année primitive de 360 jours, rend seule naturelle et supposable l'idée de la représentation symbolique par laquelle on les avait consacrés. Ce motif, déjà très-puissant, sera tout à l'heure fortifié par une autre particularité, encore plus spéciale et plus décisive.

J'arrive maintenant à la fixation de l'époque absolue du lever héliaque, considéré comme déterminatif de temps. Ce problème est pratiquement beaucoup plus difficile que la recherche de la période du phénomène. Bornons-nous ici à le résoudre, pour l'Égypte, dans sa relation avec l'année de 365 jours, à laquelle le cycle sothiaque est attaché. Il s'agira de déterminer à la vue simple, sans théorie, l'époque à laquelle le lever héliaque de Sirius aura coïncidé avec un jour de dénomination assignée, par exemple, avec le premier jour du mois thot. Mais d'abord, il faudra convenir du lieu auquel on entend appliquer la coïncidence. Car, dans cette forme d'année, l'époque mathématique d'un même

lever annuel variant de six ou sept jours pour les différents parallèles qui embrassent l'Égypte, il y aura, sur son application ultérieure, une indétermination totale de 24 ou 28 ans. si l'on n'a pas défini le parallèle précis pour lequel on a prétendu l'établir, puisqu'il faudra rapporter la fin de la période à ce même parallèle, afin de ne pas commettre une pareille erreur. L'indication est à la vérité facile; seulement il faudra qu'elle soit fidèlement transmise par l'histoire. Supposons cette condition remplie, et que le lieu désigné soit, par exemple, Memphis. Pour déterminer avec quelque précision l'époque de la coïncidence demandée, il ne faudra pas attendre qu'elle se réalise. Car l'observation immédiate étant à peine sûre à trois jours près, si l'on se bornait à noter l'année où le lever paraît se faire au jour assigné, par exemple au premier du mois thot, pour un certain observateur, il pourrait y avoir une incertitude de douze ans sur l'époque absolue; c'est-à-dire que, pendant douze années consécutives, le lever pourrait paraître s'opérer plus ou moins sensiblement à ce même jour, ou s'en écarter et y revenir, par l'erreur individuelle, et par l'inégale acuïté de vue de ceux qui l'observeraient. Or, quel usage chronologique ou astronomique pourrait-on faire d'une origine de temps qui ne serait fixée qu'à douze ans près? Le seul moyen de l'obtenir plus exactement, moyen, je l'avoue, assez subtil, c'est de se préparer à saisir la coïncidence demandée, longtemps à l'avance, et de la conclure par le concours d'un grand nombre d'observations. Supposons, par exemple, une suite de levers héliaques de Sirius, observés sans interruption en un même lieu, pendant cent années vagues de 365 jours, dans les limites d'incertitude individuelle que je viens de spécifier. Qu'on me permette même

de prendre 121 années, pour que le nombre total soit impair, ce qui rendra le raisonnement plus facile. Considérons celle qui est au milieu de cet intervalle, et concevons qu'alors le lever héliaque ait dû s'opérer, mathématiquement, pour une vue moyenne, le dixième jour d'un certain mois vague, par exemple le dixième de mésori. Celui de la 60e année précédente aura eu lieu mathématiquement quinze jours plus tôt, et celui de la 60e suivante quinze jours plus tard, puisque la date vague du phénomène varie d'un jour en quatre années de 365, pour une même portée de vue, et dans un même lieu. La somme de ces deux dates extrêmes donnerait donc encore, par leur compensation réciproque, le dixième de mésori, comme l'année intermédiaire, si les observations étaient pareillement rigoureuses; et toutes celles qui sont également distantes de celles-là, étant combinées aussi par couples, reproduiraient cette même date moyenne, dans la même supposition. Maintenant revenons aux réalités. Aucune de nos observations n'est rigoureusement exacte; mais, à moins d'un accident, d'autant moins probable qu'elles seront plus nombreuses, leurs erreurs ne seront pas toutes de même grandeur et de même sens. Dans quelques-unes, le lever aura été suspecté plus tôt que ne le suppose la limite mathématique calculée pour une vue moyenne. Dans d'autres, au contraire, il aura été aperçu trop tard, selon la sagacité relative et l'acuïté de vue des observateurs répartis sur l'intervalle entier des 121 années. Aucune des combinaisons partielles ne donnera donc la vraie date, le dix de mésori. Mais elles s'en écarteront diversement; et, selon toutes les probabilités, leurs erreurs partielles s'affaibliront mutuellement, par opposition, dans leur somme totale; ce qui

donnera une indication, sinon certainement plus exacte, du moins plus digne de confiance qu'aucune des déterminations isolées. On pourra donc trouver ainsi, en moyenne, sinon le dix de mésori, peut-être le neuf ou le onze. Alors on augmentera cette date d'un jour après quatre années vagues au delà de l'année intermédiaire, de deux jours après huit années, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elle rejoigne le premier jour du mois thot. L'année ultérieure, où cette concordance calculée arrivera, sera celle dont le thot devra être censé héliaque; et il le sera, en effet, entre les limites d'incertitude que comporte la moyenne arithmétique des observations combinées, c'est-à-dire avec une erreur possible de quatre ans, en plus ou en moins, sur l'époque absolue de la concordance, dans les conditions de combinaison que nous avons admises. Si l'on veut prendre cette année-là comme ère, et l'appeler, par exemple, l'ère de Ménophrès, elle deviendra l'origine d'une période qui s'accomplira en 1461 années vagues de 365 jours, après lesquelles le thot se retrouvera héliaque *par computation, scilicet edicto*, comme Cicéron disait en parlant du lever de la Lyre, fixé par le calendrier de César. Mais les calculateurs, ou les astronomes, qui existeront alors, et qui voudront assigner la limite finale de cette période, ne pourront le faire que de deux manières : d'abord, par un simple calcul arithmétique, si toutes les années écoulées depuis l'ère ont été continûment énumérées jusqu'à leur temps, de sorte qu'ils en connaissent la somme exacte; secondement, par observation, pourvu qu'ils puissent se placer dans les mêmes conditions de lieu, de visibilité, de perception et de combinaison systématique, qui auront servi à déterminer la coïncidence primitive. Cette exactitude de transmission chro-

nologique, ou cette identité de circonstances physiques, leur seront indispensables. Car, dans le premier cas, si la continuité de l'énumération des années leur manque, ils ne sauront pas où il faut placer l'accomplissement final des 1461 années vagues; et dans le second, s'ils emploient un mode d'observation ou de combinaison différent du primitif, ils placeront cet accomplissement à plusieurs années de distance, au delà ou en deçà des 1461. Le même défaut de correspondance terminale existera presque infailliblement, s'ils déterminent la dernière limite de la période par un calcul théorique, fondé sur des conditions conventionnelles de visibilité et d'abaissement du soleil, que n'auront pas employées les premiers observateurs, comme Théon et tous les astronomes ont pu le faire après Ptolémée. Ou, inversement, si la première date a été chronologiquement transmise avec continuité, l'époque finale qui s'en déduira s'écartera presque inévitablement de la théorique par une différence de plusieurs années. Telle est l'incertitude nécessaire, je pourrais dire l'impossibilité d'application, chronologique ou astronomique, d'une période dont l'origine et la fin seraient marquées par un phénomène aussi vague que les levers héliaques de Sirius.

Si l'on veut supposer qu'à une époque quelconque, les prêtres d'Égypte ont effectivement déterminé la date absolue d'un de ces levers dans l'année de 365 jours, et qu'ils ont fixé la réalisation de cette concordance entre des limites d'incertitude de quatre ou de huit années, ce qui répond à un ou deux jours d'erreur sur la date annuelle, ils n'ont pu y parvenir qu'au moyen d'un système d'observations suivies avec continuité pendant plusieurs siècles, et combinées par une méthode de concours, pareille ou analogue à celle que

je viens d'exposer. Mais une si grande recherche de précision n'est jamais entrée dans les idées des peuples primitifs, bornés aux approximations pratiques, suffisantes pour les besoins du moment. La méthode de concours qu'une telle détermination exige pour éteindre les incertitudes des observations partielles, ne peut être suggérée que par les exigences théoriques. Cette méthode est même toute moderne, car on n'en voit aucune trace, même dans Ptolémée. Si les prêtres égyptiens avaient été assez habiles pour la concevoir et la pratiquer, il n'y a aucune détermination astronomique, faite avec les yeux, dont il ne fallût les croire capables. Ce serait exagérer beaucoup trop le degré de science et d'esprit mathématique qu'on peut raisonnablement leur attribuer. Mais il en a été autrement, si l'on suppose la notion des thots héliaques établie quand leur année usuelle n'avait que 360 jours; car, non-seulement cette concordance se reproduisait alors beaucoup plus souvent, mais en outre elle était infiniment plus aisée à reconnaître, puisqu'on ne pouvait pas se tromper d'une seule année pareille sur chaque époque où elle s'opérait. En effet, admettons, comme précédemment, que le phénomène soit saisissable dans une limite de trois jours. Son changement de date, d'une année à une autre, étant alors de $5^j \frac{1}{4}$, il dépassait de beaucoup l'incertitude d'une observation isolée. Ainsi, son passage par le 1er de thot se voyait dans l'année même où il s'opérait, puisqu'il devançait le 1er thot de $5^j \frac{4}{4}$ dans l'année précédente, et retardait d'autant sur le 1er thot de l'année qui suivait. On pouvait donc immédiatement signaler l'année de concordance, sans prévision, sans calcul, par le seul secours actuel des yeux. Rien n'était alors plus naturel que de signaler des retours si évidents, et d'une

application si fréquente. Au lieu que, pour les fixer avec la même certitude dans les années de 365 jours, où leur variation est 21 fois plus lente, il n'aurait fallu pas moins que toutes les combinaisons physiques et scientifiques exposées plus haut. Cela suffirait, je pense, indépendamment de toute autre induction, pour montrer que l'association symbolique d'Isis Thot avec Sirius a dû être établie quand l'année égyptienne se composait de 360 jours. L'opportunité occasionnelle, et la facilité de l'application, n'ont eu lieu qu'alors. C'est alors également qu'elle était commune à tout le pays. En effet, la date vague du lever, changeant alors annuellement de $5^{j}\frac{1}{4}$ pour un même lieu, l'année reconnue héliaque, à Thèbes ou à Memphis, l'était aussi dans toute l'étendue de l'Égypte alors habitée (1).

Après que l'année de 365 jours fut adoptée, les époques des thots héliaques devinrent beaucoup plus rares et plus distantes. Cela put aussitôt se prévoir, sans aucun calcul, par la lenteur du déplacement des levers dans cette nouvelle forme d'année. Lorsqu'il devint évident que ce phénomène

---

(1) Selon les hypothèses de Ptolémée, lorsque le lever héliaque de Sirius avait lieu mathématiquement, un certain jour, à Syène, il s'opérait six jours plus tard dans la basse Égypte, un peu au sud d'Alexandrie. Mettons cinq jours de différence entre Syène et la partie méridionale du Delta, habitée dans les anciens temps. Alors, l'année étant de trois cent soixante jours, quand le lever héliaque s'opérait pour cette limite boréale de l'Égypte le premier jour de thot, il s'opérait à Syène le 26 mésori; et le thot devenait mathématiquement héliaque l'année suivante. Ainsi, lorsqu'il était tel dans la région moyenne, à Thèbes ou à Memphis, on pouvait le considérer comme tel aux deux extrémités, puisque la différence des époques ne changeait point l'année où la concordance avait lieu le plus sensiblement.

retardait progressivement dans la série des mois, de manière à devoir rejoindre un jour le 1er thot, les prêtres égyptiens durent naturellement mettre beaucoup d'intérêt à saisir la première de ces concordances nouvelles, quand elle se réaliserait; et ils eurent tout le temps nécessaire pour s'y préparer. En effet, lorsque leur calendrier vague reçut sa forme définitive en — 1780, le lever héliaque de Sirius avait lieu à Memphis le 12e jour du mois pâchon, comme je le prouve ici en note (1). La distance du thot qui suivait était donc de 114 jours, en tenant compte des épagomènes; de sorte qu'il ne devait rejoindre ce thot qu'après 456 ans vagues révolus; ce qui conduit aux thots héliaques de la période quadriennale comprenant les années juliennes — 1325, — 1321. Ce nouveau concours, si longtemps attendu, put donc être alors signalé, soit approximativement par l'observation actuelle, soit plus exactement entre des limites d'incertitude d'une ou deux années, si les prêtres s'étaient préparés d'avance à le saisir avec ce degré de précision par le concours d'observations faites antérieurement, pour ce but, pendant un ou deux siècles, comme je l'ai tout à l'heure expliqué. On trouvera sans doute difficile qu'ils eussent acquis déjà tant d'habileté théorique, et un sentiment si abstrait de précision. Je le crois aussi; mais la juste conclusion à tirer de ce doute serait qu'en remarquant l'époque, longtemps attendue, qui ramenait, pour la première fois, le lever héliaque de Sirius au premier jour de leur année définitive, comme ils ont dû le faire, puisque ce retour était lié à leurs rites religieux dans l'ancienne forme du

(1) Voyez à la fin du mémoire, la note 5.

calendrier, ils n'ont probablement pas prétendu la fixer avec la rigueur mathématique admise par beaucoup d'érudits non astronomes, et que supposerait la règle de Théon, si l'on acceptait comme telle l'origine chronologique qu'il lui donne. Ce soupçon, d'ailleurs si naturel, est confirmé par l'accord même, l'accord exact, que la date finale, déduite de cette règle, se trouve avoir avec le résultat théorique conclu des hypothèses de Ptolémée. Car il serait comme impossible qu'une date initiale, réellement établie par observation, y fût si parfaitement conforme; au lieu que cela devient une nécessité numérique, si cette date dérive, par un calcul rétrograde, de la date finale calculée théoriquement. A considérer seulement le phénomène en lui-même, avec son indétermination excessive, et la lenteur de son déplacement dans l'année de 365 jours, on ne saurait admettre que les Égyptiens, qui l'observaient pratiquement, auraient pu avoir l'idée de le prendre pour origine d'une computation chronographique, eux qui prétendaient compter les règnes de leurs rois en ans, mois et jours; lorsque tant d'autres procédés que j'ai décrits, et la seule contemplation des pyramides, leur fournissaient des moyens infiniment plus simples pour fixer des époques absolues de temps, avec une incertitude moindre qu'un jour, s'ils en avaient conçu le dessein ou senti la nécessité. Si donc il est vrai qu'Eudoxe, à son retour d'Égypte, proposa aux Grecs, comme Pline le rapporte, une période quadriennale intercalée, ayant son origine au lever héliaque de Sirius, on doit, pour ne pas lui faire tort, supposer qu'il la présentait, non pour mesure du temps, mais dans une vue d'application astrologique ou météorologique, adaptée aux usages populaires; ce qui est confirmé par les propriétés qu'il

lui attribuait de ramener, dans le même ordre, la succession des vents et des autres accidents atmosphériques, *ventorum tempestatumque vices*. En effet, quel emploi chronologique aurait-on pu faire d'une période quadriennale, dont le commencement et la fin étaient à peine assignables à trois ou quatre jours près? Ou comment se figurer qu'un géomètre, tel qu'était Eudoxe, lui aurait attribué un pareil emploi? Mais il peut très-bien l'avoir reçue des Égyptiens, avec son application hypothétique aux accidents de l'atmosphère ou aux spéculations astrologiques; car le lever héliaque de Sirius est présenté sous ce point de vue de son influence dominatrice, par tous les astrologues postérieurs.

Je placerai ici deux remarques, qui naissent immédiatement des considérations que je viens d'exposer, et qui montreront à quel point le manque de pratique de l'astronomie a fait intervertir ou méconnaître les filiations d'idées les plus naturelles. On a dit souvent que les retours des levers héliaques de Sirius ont dû suggérer aux anciens Égyptiens la période solaire de $365^{j}\frac{1}{4}$. On vient de voir qu'au contraire celle-ci leur a été infiniment plus facile à déterminer directement, et que son rapport numérique avec les retours des levers héliaques est purement accidentel. Maintenant je vais plus loin, et je dis que la connaissance des deux périodes a dû apprendre aux Égyptiens, bien avant le temps d'Hipparque, que la véritable durée de l'année solaire est moindre que $365^{j}\frac{1}{4}$, sans qu'ils pussent toutefois apprécier exactement de combien elle en différait. En effet, quand deux phénomènes physiques ont une même période, ils s'accordent constamment dans leurs retours; et si l'on voit qu'ils s'écartent progressivement l'un de l'autre, l'inégalité de leurs périodes individuelles se mani-

feste par cet écart même. Or, une antique tradition, qui a toujours subsisté chez les Égyptiens, constatait que le lever héliaque de Sirius avait coïncidé autrefois avec le commencement de la crue du Nil, invariablement fixé par la nature au solstice d'été; ce qu'ils n'avaient pu manquer de reconnaître par la constance annuelle d'un phénomène si important pour eux. Déjà, en — 1780, l'accroissement du fleuve devançait notablement l'apparition de l'étoile, puisque le lever héliaque de Sirius était postérieur de 11 jours au solstice d'été; et il n'a fait depuis que s'en écarter davantage dans le même sens, puisque le retard s'élevait à 23 jours, en — 275, sous les Ptolémées. Le progrès de ce déplacement ne pouvait donc pas être méconnu. Alors les levers de l'étoile étant toujours revenus plus tard que le solstice pendant tout ce long intervalle de temps, la période de $365^{j}\frac{1}{4}$, qui les ramenait, était évidemment plus longue que la période solaire. Ptolémée n'indique pas ce rapprochement si simple. Il se borne à admettre, d'après Hipparque, que la durée de l'année solaire est un peu moindre que $365^{j}\frac{1}{4}$, sans qu'on puisse assigner la valeur exacte de la différence; et il la porte approximativement à $\frac{1}{300}$ de jour, comme Hipparque l'avait conclue des solstices d'Aristarque, comparés à ceux qu'il avait lui-même observés. Un équinoxe, ou un solstice, qui aurait été déterminé très-anciennement par les Égyptiens à un ou deux jours près, comme cela leur était déjà facile lors de l'érection des pyramides, aurait donné une évaluation beaucoup plus certaine de cet élément, si l'époque de l'observation avait pu être rattachée au temps de Ptolémée par une énumération continue d'années et de jours. Mais nous avons vu combien il est peu probable

qu'une telle continuité ait pu être prolongée si tard. Cela se confirme encore, en renversant l'argument, par l'incertitude même de Ptolémée ou d'Hipparque sur la valeur de la différence dont il s'agit. Car, si les Égyptiens avaient eu la transmission continue d'anciennes observations de solstices et d'équinoxes qui leur étaient si faciles, l'erreur de la période solaire de $365^{j} \frac{1}{4}$, et la mesure de cette erreur, se seraient manifestées à eux par le long usage, comme à nous autres Européens lorsque nous avons senti le besoin de la réforme grégorienne; ce que Ptolémée n'aurait pas ignoré. Et plus on voudrait faire remonter haut, en Égypte, l'adoption d'une ère astronomique, à partir de laquelle on aurait transmis continûment les phases solaires, en leur appliquant l'intervalle inexact de $365^{j} \frac{1}{4}$, plus ce raisonnement aurait de force, l'erreur de cette évaluation dépassant bientôt les incertitudes des observations les plus simples; de sorte qu'il faut toujours renouveler l'époque primordiale par une observation absolue, comme l'ont fait les anciens Chinois, ce qui rompt la continuité de la transmission. Néanmoins, on peut s'étonner que Ptolémée n'ait pas mentionné le retard progressif des levers héliaques de Sirius sur le solstice, comme une preuve matérielle de la brièveté relative de l'année solaire, comparativement à la période de $365^{j} \frac{1}{4}$. Mais peut-être ne supposait-il pas la tradition de cette dernière aussi assurée que nous le croyons, maintenant que le calcul nous en démontre l'exactitude. Probablement aussi, comme les autres Grecs de son temps, il avait beaucoup de dédain pour les traditions des anciens peuples que l'on appelait barbares, surtout n'étant pas en état de calculer les conséquences qu'elles pouvaient fournir. Ce préjugé se ren-

contre encore aujourd'hui dans certains esprits, et il est fondé sur les mêmes causes.

Je reviens à Théon : et, lui concédant, par supposition, son ère de Ménophrès, correspondante au 19 ou 20 juillet — 1322, qu'elle soit ainsi appelée du nom d'une ville, ou d'un nom d'homme, j'examine comment il en conclut l'époque annuelle du lever héliaque, dans une année vague quelconque, postérieure à celle-là. Il le fait en rattachant l'année assignée à la première de l'ère, par une énumération continue, qui s'étend jusqu'à la fin de l'ère d'Auguste ; puis, plaçant d'abord le lever au premier jour de thot, à cette ancienne origine, il augmente progressivement sa date d'un jour pour quatre ans vagues, jusqu'à ce qu'il arrive à l'année qu'il veut atteindre. Cela le conduit finalement à la même date de jour que donnerait le calcul direct, établi sur les hypothèses de Ptolémée pour le parallèle de Memphis; résultat qu'il transporte ensuite à tout autre parallèle, en y faisant les corrections nécessaires (1). Déjà ceci présente un accord fort suspect entre ces hypothèses et les circonstances physiques de la détermination primitive, si l'on voulait la supposer déduite de l'observation. Mais ce qui doit paraître non moins surprenant, et aussi difficile à croire, c'est qu'il fût possible, au temps de Théon, d'établir pour l'Égypte la continuité d'une numération pareille, en ans, mois et jours, depuis 574 ans vagues au delà de l'ère de Nabonassar, époque où son Ménophrès remonte; et qu'en outre un canon chronologique aussi étendu, qui aurait été inconnu à Ptolémée, eût été construit uniquement pour

(1) Voyez à la fin du mémoire, la note 2.

computer la succession des levers héliaques de Sirius, sans qu'on y eût rattaché aucun autre fait astronomique ou historique. On ne peut voir là, raisonnablement, qu'un procédé de calcul arithmétique, pareil à celui que ce même Théon emploie dans les tables manuelles, pour transporter une date alexandrine fixe, dans l'année vague de 365 jours. Mais ici l'emploi en est d'autant plus singulier, qu'il était parfaitement inutile; car Théon pouvait tout simplement dire, comme Ptolémée, que le lever héliaque de Sirius, à Memphis, reste attaché à une même date de jour, le 26 épiphi, dans l'année alexandrine, fixée depuis la cinquième année d'Auguste; et qu'à partir de cette époque, il rétrograde d'un jour tous les quatre ans dans les années égyptiennes vagues, antérieures à la fixation. Cela eût donné les mêmes résultats que sa règle, sans qu'il y eût aucune nécessité d'introduire son Ménophrès. L'application aurait été beaucoup plus simple; et cet énoncé se présentait avec évidence, après les calculs de Ptolémée. Il y a donc lieu de suspecter que la formule de dérivation, employée par Théon, tenait à quelque pratique adoptée plus ou moins récemment en Égypte pour exprimer le déplacement du lever héliaque de Sirius, dans l'année égyptienne vague. Or, une occasion très-naturelle de rattacher fictivement ce phénomène à son ancienne concordance avec le thot vague, s'offrit lorsque l'accomplissement de cette période se trouva coïncider avec l'avénement du premier Antonin. Suivons les conséquences de cette idée, déjà émise par Dodwell dans ses *Dissertationes Cyprianicæ.* Porphyre et Solin s'accordent à dire que les prêtres égyptiens de leur temps attachaient au lever héliaque de Sirius une application astrologique et religieuse. Ils le considéraient comme ayant présidé à la nais-

sance du monde. La concordance de ce phénomène avec le premier jour de l'année vague, consacrée dans le symbolisme de la religion, constituait, selon eux, des époques de rénovation universelle, dont la période, embrassant 1461 années vagues, formait une grande année divine propre à l'Égypte, ὁ Θεοῦ ἐνιαυτὸς, comme dit Censorin. Une de ces époques, longtemps attendue, se réalisait au temps d'Antonin, et elle s'offrait avec l'opportunité la plus favorable pour l'appliquer, comme un hommage, à son avénement. En effet, d'après les calculs modernes, le thot commença de se montrer héliaque à Alexandrie vers l'an 125 de l'ère chrétienne, l'an X^e d'Adrien. Mais Alexandrie, ville récente, fondée par un conquérant étranger, ne se rattachait pas aux souvenirs religieux de l'ancienne Égypte. D'ailleurs, cette époque tombait en plein cours du règne; et lorsque la concordance s'établit pour l'intérieur de l'Égypte, quelques années plus tard, il n'y aurait rien eu d'agréable, pour Adrien vieillissant, à lui rappeler ce pays où il avait perdu son favori Antinoüs. Mais, suivant les calculs qu'on pouvait aisément faire alors, le premier jour de thot devint mathématiquement héliaque à Memphis vers le 20 juillet de l'an 138, justement dix jours après l'accession d'Antonin à l'empire. Les prêtres pouvaient aisément le savoir, soit par la théorie des levers simultanés d'Hipparque, soit par leurs rapports avec le grand astronome d'Alexandrie, sans s'embarrasser de fixer ce phénomène par l'observation, qui aurait bien pu ne pas leur donner une date si exactement concordante avec leurs intérêts. Ils eurent donc toute liberté de le placer, suivant leur convenance, au commencement effectif du nouveau règne, c'est-à-dire, au premier thot de la deuxième année égyptienne d'Antonin, et de présenter cette époque comme l'accomplissement, ou

le renouvellement, du grand cycle qui présageait au monde de nouvelles destinées. Enfin, pour remonter de là à la concordance antérieure qui devait lui servir d'origine, ils n'eurent qu'à faire reculer la date finale de 1461 années vagues, en rétrogradant d'un jour pour quatre années, et placer à cette origine leur Ménophrès; soit qu'ils aient voulu attribuer cette désignation à un ancien roi égyptien, ou seulement exprimer ainsi que cette ère était propre à la ville sacrée de Memphis, dont le mot Ménophrès reproduit en grec le nom phonétique sacerdotal. Voilà l'histoire la plus simple et la plus vraisemblable de cette fameuse période sothiaque, tant célébrée par les astrologues, qui fut aussi employée à quelques indications vagues d'époques par des écrivains postérieurs, trop peu préservés des mêmes préjugés pour apercevoir son véritable caractère, et que des érudits modernes de la plus haute distinction, tels que Petau, Bainbridge, Dodwell et Fréret lui-même, ont cru avoir été fixée à son ancienne limite par des observations réelles de levers héliaques, dont ils n'apercevaient pas assez l'incertitude pratique. Ce n'est, selon toute vraisemblance, que l'expression d'une ancienne notion traditionnelle, transformée en une période rigoureuse, dont l'origine numérique a été déduite, au second siècle de notre ère, des théories astronomiques, par un calcul rétrograde, pour lui donner l'apparence d'une détermination anciennement obtenue. Je vois dans le dernier cahier du *Journal des Savants,* pour décembre 1844, que M. Letronne est arrivé à une conclusion analogue par des considérations qu'il n'a pas développées, mais qui doivent probablement s'accorder en certains points avec celles que j'ai exposées ici, et en différer dans d'autres. Si j'ai entrepris de traiter

cette question de critique, c'est moins pour l'importance de la période sothiaque elle-même, dont l'antiquité m'avait semblé depuis longtemps suspecte (1), que pour établir nettement, et complétement, les idées que la pratique de l'astronomie m'a suggérées sur la nature des connaissances astronomiques que l'on peut attribuer avec vraisemblance aux anciens Égyptiens; puis aussi, pour montrer comment on peut espérer de retrouver, dans leurs antiques monuments, des indices d'où l'on déduirait des dates absolues. Je ne me dissimule pas les oppositions et les doutes que ce mode nouveau et inusité de détermination pourra exciter chez les personnes dont l'érudition est habituée à reconstituer la chronologie ancienne par les seules données exprimées dans des textes écrits. Mais l'antiquité figurée des Égyptiens m'a paru pouvoir se prêter à d'autres considérations; et, du moins, je suis assuré que les concordances numériques auxquelles je propose d'avoir recours, lorsqu'on en voudra chercher les éléments, sont conformes aux règles pratiques, ainsi que théoriques, de l'astronomie la plus exacte. Je suis persuadé qu'un jour viendra où l'on reconnaîtra que cette voie est la plus féconde, peut-être la seule qui nous reste, pour rétablir quelques jalons assurés dans l'ancienne chronologie égyptienne; et cette espérance m'a déterminé à la signaler, malgré les défiances que sa nouveauté pourra faire naître. Puissé-je l'avoir montrée assez tôt pour que l'invasion barbare de l'industrie moderne, dans l'antique Égypte, n'ait pas encore achevé de détruire tous les monuments sur lesquels on pourrait retrouver de si précieuses indications!

---

(1) *Recherches sur l'année vague des Égyptiens*, Mémoires de l'Académie des sciences, t. XIII, p. 561 et suivantes

NOTE PREMIÈRE.

CALCULS DES LEVERS HÉLIAQUES DE SIRIUS A MEMPHIS, PAR LES HYPOTHÈSES DE PTOLÉMÉE.

Pour épargner au lecteur la peine de chercher les formules qu'exige la solution de ce problème, je lui en présenterai d'abord ici l'ensemble et le mode d'application.

Ptolémée donne la position de l'étoile en longitude et latitude, pour la 1[re] année égyptienne d'Antonin, la 885[e] de Nabonassar. Il faut d'abord réduire le premier de ces éléments à l'époque pour laquelle on veut faire le calcul, en y appliquant la précession constante de 36″ par année, qui est celle qu'il adopte. Soit l la longitude ainsi obtenue. Ptolémée suppose les latitudes des étoiles constantes. Je désigne celle qu'il assigne à Sirius par λ. La première chose à faire, c'est de convertir ces éléments en ascension droite a, et en déclinaison d, avec la valeur $\omega = 23^\circ.51'.20''$ qu'il attribue à l'obliquité de l'écliptique, d'après Hipparque. On obtiendra directement a et d par les formules suivantes :

$$\sin d = \sin\omega \cos\lambda \sin l + \cos\omega \sin\lambda,$$

$$\tang a = \frac{-\tang\lambda \sin\omega + \sin l \cos\omega}{\cos l},$$

et l'on devra trouver, pour vérification du calcul numérique,

$$\cos a = \frac{\cos\lambda \cos l}{\cos d}.$$

Dans ces expressions, les longitudes l sont comptées d'occident en orient; et de 0° à 360° sans interruption. Les latitudes λ sont considérées comme positives au nord de l'équateur, comme négatives au sud. Il faut donc donner à leurs lignes trigonométriques les signes exigés par ces conventions, et les combiner conformément aux règles des signes algébriques. Alors

les valeurs de sin d, tang a, cos a, que les formules donnent, doivent être interprétées de la même manière. C'est-à-dire que les ascensions droites a se comptent d'occident en orient, et de 0° à 360°; les déclinaisons d, positivement au nord de l'équateur, négativement au sud. En observant ces règles, on n'aura jamais d'incertitude sur l'évaluation de ces quantités. Quand on les aura obtenues, la solution du problème s'achèvera par les figures 1 et 2.

Dans ces figures, MVN représente le cercle de l'horizon, MZN le méridien, Z le zénith, P le pôle élevé. MN est la ligne méridienne, et O le centre de la sphère céleste, décrite autour de l'œil de l'observateur. Ainsi, l'angle PON est la hauteur du pôle, ou la latitude géographique du lieu pour lequel on veut faire le calcul. Je la désignerai par h. E est l'équinoxe vernal, EQ le cercle de l'équateur, EL le cercle de l'écliptique, s'étendant de ce point vers Q et L, dans le sens des ascensions droites et des longitudes. S est l'étoile paraissant à l'horizon oriental, et représentée dans la fig. 1 comme étant au sud de l'équateur, dans la fig. 2 comme étant au nord. L'alternative est décidée par le signe de d. S' est le centre du soleil, situé au-dessous de l'horizon, dans l'arc de dépression vertical VS', tel que l'étoile puisse être perceptible en S à l'horizon même. Ptolémée fait cet arc VS' d'environ 11° pour Sirius. Le problème consiste à chercher quel doit être l'arc de longitude ES' pour cette condition d'abaissement du point S', lorsque l'étoile S est à l'horizon. Car ES' étant connu, il ne restera qu'à chercher l'époque de l'année à laquelle le soleil atteint cette longitude, ce qui se trouvera par les tables du mouvement de cet astre; et cette époque sera celle du lever héliaque de l'étoile S, dans l'hypothèse de visibilité adoptée.

Le calcul est le même dans les deux figures, sauf une seule différence de signe que j'indiquerai tout à l'heure. En conséquence, je prendrai pour type de raisonnement la fig. 1, qui s'applique à la position australe de Sirius, que nous voulons spécialement considérer.

Du pôle P menez à l'étoile le cercle de déclinaison PAS, qui sera perpendiculaire à l'équateur en A. Les déterminations précédentes ont fait connaître l'arc EA, ascension droite de l'étoile, et sa déclinaison AS. La première est exprimée par a, la seconde par $-d$. En outre, EAQ étant l'équateur, l'angle dièdre EQM est l'inclinaison de ce plan sur l'horizon, vers le midi, ou sa hauteur sur l'horizon du lieu, laquelle est le complément de la hauteur du pôle. Ainsi, l'angle EQM ou AQS a pour valeur $90° - h$. Cela

reconnu, considérez le triangle sphérique ASQ. Il est rectangle en A. De plus, on y connaît l'arc AS, qui est ici $-d$, puisque la figure représente l'astre S comme étant au sud de l'équateur. Enfin, on y connaît aussi l'angle en Q, qui est $90^\circ - h$. On peut donc, avec ces données, calculer l'arc AQ par la formule exposée dans la *Géométrie de Legendre*, pour le 4e cas des triangles sphériques rectangles; et l'on en déduira :

$$\sin AQ = \frac{\text{tang } SA}{\text{tang } AQS}.$$

Alors, en remplaçant les lignes géométriques par leurs valeurs tout à l'heure trouvées, et donnant à d son signe négatif, on aura :

$$\sin AQ = -\text{tang } d \text{ tang } h.$$

Lorsqu'on appliquera cette formule à un astre situé physiquement au sud de l'équateur, comme le suppose la fig. 1 qui nous sert de type, d devra y être employé, dans le calcul numérique, avec sa valeur négative. Cela donnera alors AQ positif, comme, en effet, il doit l'être d'après cette figure. Mais si l'astre est situé au nord de l'équateur, il faudra employer la valeur de d comme positive. Cela donnera alors AQ négatif, par conséquent soustractif de EA, comme le représente la fig. 2.

L'arc AQ étant connu par cette formule, on l'ajoutera algébriquement à l'ascension droite EA qui est a, et l'on obtiendra l'arc total EQ, qui aura pour valeur : $EQ = a + AQ$. Cet arc est l'ascension droite du point de l'équateur qui se lève avec l'étoile, c'est-à-dire qui se trouve en même temps qu'elle à l'horizon oriental.

Si l'on avait opéré sur la fig. 2, qui convient aux étoiles boréales, on aurait eu de même toutes les données nécessaires pour calculer l'arc AQ. Mais cet arc obtenu, il faudrait le retrancher de l'ascension droite EA ou a, pour avoir l'arc EQ de l'équateur, dont l'extrémité se lève avec l'étoile. C'est ce qu'indiquerait alors le signe négatif de AQ. Passé ce point, il n'y a plus aucune différence dans le reste du calcul.

Ayant l'arc EQ et l'angle EQS, on peut résoudre le triangle obliquangle EQL. En effet, on y connaît d'abord un côté, qui est EQ; et aussi l'angle EQL. Car celui-ci est le supplément de EQS, qui est $90^\circ - h$. Il a conséquemment pour valeur $90^\circ + h$. Enfin, on connaît l'angle en E, qui est l'obliquité de l'écliptique que nous avons appelée ω. La résolution du triangle EQL rentrera dans le 4e cas des triangles sphériques obliquangles, et l'on en

déduira :

$$\frac{1}{\text{tang EL}} = \frac{\cos\omega}{\text{tang EQ}} + \frac{\sin\omega}{\sin \text{EQ} \,\text{tang EQL}} = \frac{\cos\omega}{\text{tang EQ}} - \frac{\sin\omega \,\text{tang}\, h}{\sin \text{EQ}},$$

$$\cos \text{ELQ} = \cos \text{EQ} \sin\omega \sin \text{EQL} - \cos\omega \cos \text{EQL}$$
$$= \cos \text{EQ} \sin\omega \cos h + \cos\omega \sin h.$$

Quand on aura trouvé ainsi l'arc EL et l'angle ELQ, on fera sagement d'en vérifier les valeurs numériques, en appliquant au triangle ELQ la condition de proportionnalité des sinus des angles sphériques aux sinus des côtés opposés, ce qui donnera

$$\sin \text{EL} = \frac{\sin \text{EQ} \sin \text{EQL}}{\sin \text{ELQ}} = \frac{\sin \text{EQ} \cos h}{\sin \text{ELQ}}.$$

Cette expression, qui emploie comme donnée l'arc EQ, et l'angle ELQ obtenu par la deuxième formule, devra fournir la même valeur de l'arc EL que la première, si l'on a opéré exactement.

L'angle ELQ est égal à son opposé S'LV. Considérez le triangle S'LV : l'angle en V est droit, puisque l'arc SVS' est supposé vertical. Si, de plus, on se donne l'arc de dépression VS', que l'on suppose être juste assez grand pour permettre d'apercevoir l'étoile en S, on pourra, d'après ces données, calculer l'hypoténuse LS', par la proportionnalité générale des sinus des angles sphériques aux sinus des côtés opposés. Cela donnera :

$$\sin \text{LS}' = \frac{\sin \text{VS}'}{\sin \text{ELQ}}.$$

Connaissant LS', on l'ajoutera à l'arc EL déjà calculé, et l'on aura :

$$\text{ES}' = \text{EL} + \text{LS}'.$$

ES' est la longitude que doit avoir le soleil à l'époque du lever héliaque de l'étoile S.

Il ne restera plus qu'à chercher, par les tables des mouvements du soleil, à quel temps de l'année il atteint cette longitude.

Supposez, au contraire, qu'on se donne l'époque du phénomène dans l'année solaire, et qu'on demande si l'étoile se lève alors héliaquement. Par l'époque, on connaîtra la longitude ES' du soleil : retranchant EL, déjà calculé, on aura la valeur de LS' pour ce temps-là. Alors on renversera l'équation qui tout à l'heure nous donnait LS', et l'on en tirera :

$$\sin \text{VS}' = \sin \text{LS}' \sin \text{ELQ}.$$

VS' sera l'abaissement actuel du soleil sous l'horizon du lieu, lorsque

l'étoile se lève, à l'époque de l'année pour laquelle on a fait le calcul. Si la valeur obtenue pour VS′ est moindre que celle qui est nécessaire pour que l'étoile devienne perceptible à l'horizon, il faudra attendre que l'accroissement progressif de la longitude ait augmenté l'abaissement du soleil au moment où elle se lève ; et le lever héliaque n'aura pas encore eu lieu. Si au contraire VS′ surpasse cette limite, l'étoile aura été visible à l'horizon quelques jours auparavant, quand il était moindre ; et, en conséquence, l'époque annuelle du lever héliaque sera déjà passée.

PREMIÈRE APPLICATION.

Calcul des conditions héliaques de Sirius à Memphis, au premier jour de Thot de l'an 886e de Nabonassar, le 2e d'Antonin, 20 juillet 138 de l'ère chrétienne, à 4 heures du matin, d'après les données de Ptolémée.

Le catalogue de Ptolémée donne les longitudes et les latitudes des étoiles au 1er jour de thot de la 1re année d'Antonin (*Almageste*, lib. VII, cap. IV, ad finem). J'ajoute donc 36″ à la longitude qu'il assigne à Sirius dans ce catalogue ; et j'ai ainsi, pour l'époque que nous voulons considérer :

Longitude de Sirius $l = 77^\circ . 40' . 36''$;
latitude......... $\lambda = -39^\circ . 10' . 0''$ (australe).

De là, avec l'obliquité $\omega = 23^\circ . 51' . 20''$ qu'il adopte, je tire, par les formules exposées plus haut,

l'ascension droite. $a = 80^\circ . 6' . 2''$;
la déclinaison.... $d = -1^\circ . 44' . 27''$ (australe).

Je prends ensuite, dans sa géographie, la latitude géographique qu'il assigne à Memphis. Cette latitude, égale à la hauteur du pôle, donne :

$$h = 29^\circ . 50' . 0''.$$

Il n'est pas inutile de remarquer que tous les manuscrits s'accordent pour les valeurs attribuées ici à l et à λ ; comme aussi le catalogue des positions

géographiques qui se trouve dans le commentaire de Théon reproduit la même valeur de h pour Memphis.

En appliquant à ces données les formules expliquées ci-dessus, et raisonnant sur la figure 1[re], qui convient aux étoiles australes, je trouve d'abord la valeur de l'arc AQ égale à $9^{o}.18'.7''$. Alors, en l'ajoutant à l'ascension droite a, j'en déduis les résultats suivants :

Ascension droite du point orient de l'équateur qui se lève avec Sirius....	$EQ = 89^{o}.24'.9''$
Longitude du point orient de l'écliptique qui se lève aussi avec Sirius.....	$EL = 90^{o} + 12^{o}.32'.21'$
Inclinaison de l'écliptique sur l'horizon de Memphis à ce point oriental...	$ELQ = 62^{o}.42'.3''$.

Je cherche maintenant la longitude vraie du soleil à ce même jour de thot, à 4 heures du matin, c'est-à-dire à 16 heures, parce que Ptolémée commence le jour à midi. J'effectue ce calcul avec ses tables du soleil, par les méthodes qu'il expose, lib. III, cap. V (ad finem). L'époque de ces tables est le 1[er] thot de l'an 1[er] de Nabonassar, à midi. Il faut donc d'abord prendre le mouvement moyen pour 885 ans vagues complets, plus 16 heures, et y appliquer l'équation de l'orbite, ou la prostraphérèse correspondante à l'anomalie moyenne ainsi obtenue. Voici le détail des opérations :

Mouvement moyen pour 810 ans vagues............	163°. 4'. 12''.15'''
72......................	342.29. 42 .25
1......................	359.45. 24 .45
1......................	359.45. 24 .45
1......................	359.45. 24 .45
16[h]	0.39. 25 .31
Somme..................	1585°.29'. 34''.26''
D'où retranchant 4 circ.......	1440°
On a le mouvement moyen de l'an 1[er] de Nabonassar........ $mt =$	145°.29'. 34''.26''
Valeur de l'anomalie moyenne à l'époque des Tables.........	265 .15'
Somme...........	410°.44'. 34''
De là retranchant 1 circonférence, il reste l'anomalie moyenne.. $A =$	50°.44'. 34''
J'ajoute la longitude de l'apogée que Ptolémée suppose fixe....	65°.30'
La somme est la longitude moyenne à l'instant proposé........	116°.14'.34''
Prostraphérèse pour l'anomalie A calculée par ses tables (soustr.).	—1°.47'. 34''
Ce qui donne la longitude vraie à l'instant proposé............ $L =$	114°.27'. 0

Alors, pour savoir si ce thot de l'an 2[e] d'Antonin est héliaque, je fais le calcul suivant sur la fig. 1 :

Longitude vraie du soleil ce même jour de thot à 4h du matin ou 16h.....	ES' = 90°+24°.27'. 0"
Longit. du point L de l'écliptique qui se lève avec Sirius, à ce même instant.	EL = 90°+12°.32'.21"
Différence, ou valeur de l'arc LS'..	LS' = 11°.54'.39"
Nous avons trouvé ci-dessus la valeur de l'angle ELQ, ou de son opposé...	VLS' = 62°.42'. 3"

Avec ces deux dernières données, je calcule l'angle de dépression correspondant du soleil par la formule,

$$\sin VS' = \sin LS' \sin VLS',$$

et je trouve: arc de dépression du soleil au 1[er] thot de l'an 2[e] d'Antonin, à 4 heures du matin, ou 16 heures à Memphis :

$$VS' = 10° . 34' . 5''.$$

Cet arc tombe dans les limites que Ptolémée adopte dans son catalogue des apparitions des fixes pour la condition de visibilité de Sirius. Ainsi ce Thot de l'an 2[e] d'Antonin a été héliaque à Memphis, selon ses hypothèses.

En répétant le même calcul pour le 1[er] Thot de l'année précédente d'Antonin, je trouve

$$VS' = 10° . 46' . 54'' ;$$

donc, augmentation de VS' pour 1 année de rétrogradation + 12'. 49".

Raisonnant donc par proportionnalité pour les années immédiatement antérieures et postérieures, on aura :

			Date Julienne correspondante.
Pour l'an 844 de Nabonassar,	la dernière d'Adrien....	VS'=10°.59'.43"	20 juillet de l'année 136.
Pour l'an 885............	la première d'Antonin...	VS'=10°.46'.54"	20 juillet.......... 137.
Pour l'an 886............	la deuxième d'Antonin...	VS'=10°.34'. 5"	20 juillet.......... 138.
Pour l'an 887............	la troisième d'Antonin...	VS'=10°.21'.16"	20 juillet.......... 139.

Aucune de ces valeurs ne sort des limites d'environ 11°, adoptées par Ptolémée pour l'arc de visibilité de Sirius. Ainsi, ces quatre thots ont été physiquement héliaques à Memphis, selon ses hypothèses; et les prêtres auraient pu prendre un quelconque d'entre eux pour la limite terminale de la période sothiaque qu'ils voulaient établir. Mais, d'après la marche que suivent ici les valeurs de dépression VS', on voit que le choix était limité à ces quatre années, du moins dans les conditions de calcul que Ptolémée

avait admises. Car, antérieurement à l'an 884, au 1[er] jour de Thot, à 4 heures du matin, l'abaissement du soleil sous l'horizon de Memphis, au moment du lever de l'étoile, aurait excédé la limite de 11°, où l'étoile commence à être perceptible par hypothèse. Ainsi l'on aurait pu la voir *avant* le 1[er] de thot. Au contraire, après l'an 887, au 1[er] de thot, à la même heure, l'arc d'abaissement du soleil aurait été trop petit pour que l'on pût l'apercevoir à son lever dans les mêmes suppositions; de sorte qu'il aurait fallu attendre que le soleil eût prolongé sa marche en longitude pour qu'elle devînt théoriquement perceptible.

Nous allons maintenant chercher quelle amplitude d'erreur Ptolémée aurait trouvée à la période de $365^j\frac{1}{4}$, s'il avait voulu essayer de déterminer par ses tables du soleil, et sa précession de 36″, la date annuelle du lever héliaque de Sirius, pour une époque antérieure de 1461 années vagues à la 2[e] d'Antonin.

DEUXIÈME APPLICATION.

Calcul des conditions héliaques de Sirius à Memphis, au premier jour de thot antérieur de 1461 années vagues à la 2[e] d'Antonin, 20 juillet — 1525 chronologique, à 4 heures du matin, d'après les données de Ptolémée.

L'époque que nous voulons ici considérer est antérieure de 1460 ans vagues à la 1[re] année d'Antonin, pour laquelle Ptolémée a construit son catalogue d'étoiles. Ainsi, pour avoir la longitude de Sirius à cette époque ancienne, il faut, de la longitude 77°.40′.0″, qu'il assigne à cette étoile, retrancher la précession pour 1460 années vagues, c'est-à-dire 14°,6 ou 14°.36′.0″, puisqu'il suppose la précession d'un degré, pour cent de ces mêmes années. Il faut, en outre, conserver la même latitude, puisqu'il suppose cet élément invariable. On aura donc, selon lui, à l'époque ici considérée :

Longitude de Sirius...... $l =$ 63°. 4′.0″;
latitude................. $\lambda = -$ 39°. 10′. 0″ australe.

De là, avec l'obliquité $\omega = 23^\circ . 51' . 20''$ qu'il suppose constante, je tire, par les formules exposées plus haut,

l'ascension droite.. $a = \quad 68^\circ . 24' . 49''$,
la déclinaison..... $d = - 17^\circ . 20' . 30''$ (australe).

Ces valeurs sont très-fautives, comme en pourra juger en les comparant aux véritables que je rapporte ici en note, telles que je les ai obtenues pour la même époque, par les formules de la Mécanique céleste (1). L'ascension droite est *trop forte* de $3^\circ . 36' . 22''$; la déclinaison *trop faible* de $1^\circ . 33' . 4''$. Mais on verra que ces inexactitudes sont en partie compensées, dans le calcul du lever héliaque, par les erreurs correspondantes des tables du soleil de Ptolémée. Je continue donc ce calcul avec ses nombres, et je l'applique toujours à Memphis, pour laquelle, selon lui, la hauteur du pôle $h = 29^\circ . 50'$.

L'étoile étant australe, je raisonne sur la figure 1re. Les formules que nous avons établies me donnent d'abord l'arc $AQ = 10^\circ . 18' . 58''$. Je l'ajoute à l'ascension droite a, et j'obtiens les résultats suivants :

Ascension droite du point orient de l'équateur qui se lève avec Sirius.........	$EQ = 78^\circ . 43' . 47''$
Longitude du point orient de l'écliptique qui se lève aussi avec Sirius........	$EL = 93^\circ . 6' . 16''$
Inclinaison de l'écliptique sur l'horizon de Memphis, à ce point oriental........	$ELQ = 58^\circ . 25' . 47''$

Il faut maintenant chercher, par les tables du soleil de Ptolémée, quelle a dû être, selon lui, la longitude vraie du soleil à ce même 1er Thot, 4 heures du matin, ou, + 16 heures, Ptolémée commençant le jour à midi. Pour cela, il faut d'abord transporter cette date au delà de l'ère de

---

(1) J'ai d'abord calculé, par les formules de la Mécanique céleste, les valeurs exactes de la précession sur l'écliptique fixe de 1750, depuis cette dernière époque jusqu'au commencement de l'année Julienne —1323 des chronologistes. J'ai aussi déterminé les valeurs de l'obliquité de l'équateur sur cette écliptique et sur l'écliptique mobile pour cette même date. Prenant ensuite les éléments de position de Sirius en 1750, je leur ai appliqué la méthode directe de transport que j'ai exposée dans mon Astronomie, et que j'ai reproduite dans mes Recherches sur plusieurs points de l'astronomie égyptienne, note IV, page 296. J'ai trouvé ainsi pour le 1er janvier —1323, date chronologique, les résultats suivants :

Ascension droite vraie de Sirius $a = 64^\circ . 48' . 27''$. Déclinaison $d = - 18^\circ . 53' . 34$ (australe).

La réduction de ces éléments au 20 juillet de la même année n'y apporterait pas de changements sensibles pour la comparaison que nous voulons établir.

Nabonassar, qui est l'époque des tables dont il s'agit, pour savoir combien elle en est distante. Or rien n'est plus facile. En effet, le 1er Thot de l'an 2e d'Antonin ouvre la 886e année de Nabonassar. Ainsi :

Depuis l'ère jusqu'à ce thot, il y a un nombre révolu d'années vagues égal à...........	885
Retranchez ce nombre de l'intervalle total des deux thots en années complètes...........	1461
Vous aurez pour différence...............	576

Cette différence exprime le nombre d'années complètes dont le Thot que nous voulons considérer est *antérieur* au thot de Nabonassar ; et puisque nous voulons faire notre calcul pour 16 heures plus tard, il faudra diminuer cet intervalle de 16 heures en revenant vers nous.

Voici maintenant la réalisation de ces résultats par les tables du soleil, de Ptolémée :

Mouvement moyen de rétrogradation pour 576 ans vagues..............		—219°.57'.39''.23'''
Ajoutez, en revenant vers nous, le mouvement moyen pour 16 heures.....		+0.39'.25''.31'''
La somme sera le mouvement moyen depuis le 1er thot de l'an —576 à 4h du matin jusqu'à l'ère....................................	mt =	—219°.18'.14''
Anomalie moyenne à l'époque des Tables...........................		265.15.0
Anomalie moyenne à l'époque proposée............................	A =	45°.56'.46'' (1)
Ajoutez la longitude de l'apogée que Ptolémée suppose fixe.............		65.30
La somme est la longitude moyenne à l'époque proposée................		111°.26.46
Prostraphérèse calculée pour l'anomalie A (soustractive)................		—1.39.14
Longitude vraie du soleil au 1er thot de l'an —576 de Nabonassar, 4h du matin..	L =	109°.47'.32''

Cette longitude est *trop forte* de 6° . 5' . 9'', comme on le voit en la com-

(1) On peut vérifier ce résultat en prenant pour époque l'anomalie moyenne que nous avons trouvée plus haut pour le premier jour de thot de la deuxième année d'Antonin, à 4h du matin, et en retranchant le mouvement moyen pour une rétrogradation de 1461 ans vagues. En effet, on aura ainsi :

Anomalie moyenne au 1er jour de thot de la 2e année d'Antonin, à 4h du matin.....	50°.44'.34''.26'''
Mouvement moyen de rétrogradation pour 1461 années vagues complètes (à soustraire)..	—4°.47'.48''.18''
Donc anomalie moyenne au 1er jour de thot de l'an de Nabonassar —576, à 4h du matin..	45°.56'.46''

comme nous la trouvons par le calcul direct.

parant à la valeur calculée par nos tables actuelles pour la même époque, valeur que je rapporte ici en note (1). Mais nous avons vu que l'ascension droite *a*, qui se conclut des données de Ptolémée, est aussi *trop forte*, ce qui se communique par dérivation aux valeurs des arcs EQ, EL de notre figure 1re. Or, les conditions de visibilité de l'étoile dépendent de l'excès de la longitude L ou ES′ du soleil sur l'arc EL. Donc, les erreurs de ces deux quantités étant ici de même sens, elles se compensent en partie mutuellement dans leur différence; de sorte que l'arc ES′ qu'on en déduit, est beaucoup moins fautif qu'il ne le serait sans cette opposition.

Reprenant donc les valeurs précédentes, nous avons, suivant Ptolémée :

Longitude vraie du soleil à l'époque proposée..............................	ES′ = 109°.47′.32″
Longitude du point orient de l'écliptique qui se lève avec Sirius (suprà).......	EL = 93°, 6.16
Différence ou valeur de l'arc LS′...	LS′ = 16.41.16
Nous avons déjà trouvé ci-dessus la valeur de l'angle ELQ ou de son opposé VLS′ :	VLS′ = 58°.25′.47″

Avec ces données, nous calculerons l'arc d'abaissement actuel du soleil, au moment du lever de l'étoile, par la formule :

$$\sin VS' = \sin LS' \sin VLS' ;$$

laquelle nous donnera :

$$VS' = 16° . 41' . 16''.$$

Cet arc, comparé à la valeur type 11°, est trop grand pour que l'étoile

(1) Je déduis ces différences du lieu du soleil, que M. Largeteau a calculé pour ce même jour avec les tables de Delambre rectifiées. Il a trouvé ainsi :

Longitude vraie du soleil le 20 juillet —1323 des chronologistes à 0^h temps de Paris compté de minuit..	103′.37′.30″
Mouvement horaire........................	2′.25″.24

Paris est à $1^h.56'$ à l'occident de Memphis. Ainsi le minuit de Paris correspond pour Memphis à $1^h.56'$ après minuit. De là, jusqu'à 4^h, du matin, il reste $2^h.4'$ qui correspondent à un mouvement horaire de $4'.53''$. Ajoutant donc cette quantité à la longitude trouvée pour le minuit de Paris, on aura :

Longitude du soleil le 20 juillet —1323 chronologique à 4^h du matin, temps de Memphis..	103°.42′.23″

Ce qui établit la différence que j'ai indiquée avec le résultat de Ptolémée.

ne devienne perceptible que ce jour-là même. Elle a dû l'être antérieurement, quand le soleil avait une longitude un peu moindre au moment où l'étoile se levait. En effet, en conservant les mêmes conditions relativement à ce lever, j'ai calculé, toujours par les tables de Ptolémée, quelle avait dû être la longitude vraie du soleil quatre jours plus tôt, c'est-à-dire le 2e jour épagomène précédent, à la même heure. J'ai trouvé ainsi, pour ce jour-là :

$$VS = 10^\circ.\,47'.\,3''.$$

Sirius était donc héliaque ce jour-là à Memphis, selon les tables de Ptolémée. Si l'on veut voir la marche du phénomène dans les jours voisins, il n'y a qu'à prendre l'excès de la valeur précédente de VS' sur celle-ci; et, la divisant par 4, on aura la variation de cet élément pour un jour de retard ou d'avance. Ce résultat, étant appliqué par addition ou soustraction à ces mêmes valeurs, donnera le tableau qui suit :

		Valeurs de VS'.
Année —577 de Nabonassar...	premier épagomène, à 4h du matin.....	9°.57'.23"
	deuxième..........................	10 .47 . 3
	troisième..........................	11 .36 .43
	quatrième..........................	12 .26 .22
	cinquième..........................	13 .16 . 2
Année —576 de Nabonassar.....	premier thot, à 4h du matin...........	14 . 5 .42

On voit par ce tableau que, selon les hypothèses de Ptolémée, le thot de l'an — 576 de Nabonassar n'aurait pas été exactement héliaque à Memphis; c'est-à-dire que Sirius ne se serait pas levé héliaquement sur l'horizon de cette ville ce jour-là même, 20 juillet — 1323 des chronologistes. Ce phénomène se serait opéré les 1er, 2e, 3e et 4e épagomènes précédents, c'est-à-dire les 15, 16, 17 et 18 juillet de cette même année julienne; de sorte que le thot ne serait devenu héliaque à Memphis, selon ces hypothèses, que 20 ans après l'époque que nous avons considérée, c'est-à-dire en l'an julien — 1303 chronologique. Néanmoins, si Ptolémée avait eu connaissance d'une ancienne tradition, d'après laquelle le Thot aurait été héliaque à Memphis 1640 vagues avant la 1re année d'Antonin, et qu'il eût essayé d'y comparer ses hypothèses, comme nous venons de le faire, la différence de quatre jours qu'il y aurait trouvée lui aurait dû paraître tellement petite, comparativement à un si long intervalle, qu'il l'aurait sans doute considérée comme une confirmation très-importante des données dont il avait fait

usage, et il n'aurait pas manqué de mentionner un tel résultat. S'il ne l'a pas fait, c'est que l'énoncé de Théon n'est qu'un artifice numérique pour faciliter son calcul de rétrogradation, et non pas un fait réel que Ptolémée n'aurait pas dû ignorer. Nous pouvons être plus justement surpris qu'il n'ait pas attaché un caractère de certitude à cette autre tradition, presque indubitablement existante en Égypte, que la période des levers héliaques de Sirius était *exactement* de $365^j \frac{1}{4}$. Mais peut-être a-t-il pensé que l'observation du phénomène était trop vague pour établir avec sûreté la durée de cette période. Et, en effet, une pareille détermination ne pourrait avoir aux yeux d'un astronome les caractères d'une mesure que si elle était établie par une série de levers observés continûment pendant beaucoup de siècles; condition à laquelle la tradition égyptienne satisfaisait peut-être, sans que Ptolémée en fût assuré ou convaincu.

NOTE DEUXIÈME.

SUR UNE RÈGLE DONNÉE PAR THÉON D'ALEXANDRIE, POUR TROUVER LE JOUR DE L'ANNÉE ÉGYPTIENNE VAGUE OU FIXE, AUQUEL S'OPÈRE LE LEVER HÉLIAQUE DE SIRIUS.

Cette règle se trouve consignée au folio 154 du manuscrit 2390 de la Bibliothèque royale, qui contient le commentaire sur la composition mathématique de Ptolémée, les tables manuelles, et divers opuscules du second Théon. Il est donc à présumer qu'elle est de ce géomètre, ou au moins de son école. D'après Larcher, dans sa traduction d'Hérodote, elle est identiquement reproduite dans un manuscrit du Vatican; de sorte que son authenticité n'est pas douteuse. J'en avais déjà rapporté le texte, avec la traduction faite par mon savant confrère M. Hase, dans mon ouvrage intitulé *Recherches sur plusieurs points de l'astronomie égyptienne*, publié

en 1823. Mais je ne l'avais pas alors analysée assez exactement, parce qu'on n'avait pas encore de traduction imprimée des tables manuelles, où l'on pût voir la marche que Théon a coutume de suivre dans les problèmes de ce genre. En conséquence, je reproduis d'abord ici ces documents, pour les soumettre à une discussion plus rigoureuse, et plus conforme à l'esprit de l'auteur grec.

Περὶ τῆς τοῦ Κυνὸς ἐπιτολῆς ὑπόδειγμα.

Ἐπὶ τοῦ ρ̄ ἔτους Διοχλητιανοῦ περὶ τῆς τοῦ Κυνὸς ἐπιτολῆς ὑποδείγματος ἕνεκεν λαμβάνομεν τὰ ἀπὸ Μενόφρεως ἕως τῆς λήξεως Αὐγούστου. Ὁμοῦ τὰ συναγόμενα ἔτη α̣χε̄. οἷς ἐπιπροστεθοῦμεν τὰ ἀπὸ τῆς ἀρχῆς Διοχλητιανοῦ ἔτη ρ̄, γίνονται ὁμοῦ ἔτη α̣ψε̄. τούτων λαμβάνομεν τὸ τέταρτον μέρος, ὅ ἐστι υκϛ̄. τούτοις προσθέντες (ἡμέρας ?) ε̄, γίνονται υλα. Ἀπὸ τούτων ἀφελόντες τὰς τότε τετραετηρίδας, οὔσας ρϐ, λοιπὸν τκ̄α. τὰ λείποντα ἡμέρας τκ̄θ. ταύτας ἀπόλυσον ἀπὸ Θὼθ, διδόντες, ἑκάστῳ μηνὶ, ἡμέρας λ̄, ὡς εὑρίσκεσθαι τὴν ἐπιτολὴν ἐπὶ τὸ Διοχλητιανοῦ ἐπιφὶ κ̄θ. Ὁμοίως ποίει ἐπὶ ὁτουδήποτε χρόνου.

TRADUCTION PAR M. HASE.

RÈGLE POUR LE LEVER HÉLIAQUE DU CHIEN.

« Par exemple, si nous voulons obtenir l'époque du lever héliaque du « Chien pour la centième année de Dioclétien, nous comptons d'abord les « années écoulées depuis Menophrès jusqu'à la fin d'Auguste : elles don- « nent pour somme 1605 ; et, leur ajoutant depuis le commencement de Dio- « clétien 100 années, on en aura, en tout, 1705. De ce total nous prenons « le quart, qui est 426 ; à quoi ajoutant 5 jours, nous avons 431. De là, « nous ôtons ce qu'il y avait alors de tétraétérides écoulées (1), c'est-à-dire

(1) Ce sont les périodes quadriennales intercalées de l'année alexandrine, qui se sont écoulées depuis sa fixation, que Théon admet avoir eu lieu en l'an 724 de Nabonassar, jusqu'à la 100e de Dioclétien correspondante à l'an 1132 de ce même système d'années. La différence de ces deux nombres donne, en effet, 408 années vagues, contenant 102 tétraétérides, pendant lesquelles le thot alexandrin est

« 102, en laissant 21 (années) (1). Le reste est 329 jours. Répartissez ce « nombre, à compter de thot, en prenant 30 jours pour chaque mois, « vous trouvez le lever du Chien au 29 épiphi de l'année dioclétienne. « Opérez de même pour toute autre époque donnée. »

Théon opère ici précisément comme il le fait au commencement de ses tables manuelles, quand il veut transporter une date alexandrine fixe dans l'année égyptienne vague. Il prend alors, pour origine de son calcul, une époque où le thot vague a coïncidé avec le thot fixe; ce qu'il dit avoir eu lieu à la 5e année vague d'Auguste, laquelle, d'après le canon des rois, concorde avec la 724e de Nabonassar. Puis il calcule progressivement le nombre de jours dont les deux thots se sont séparés depuis cette coïncidence primitive. De même, dans le problème actuel, où il veut d'abord trouver la date actuelle du lever héliaque dans l'année vague, il part d'une époque où ce lever est supposé avoir coïncidé avec le premier jour du mois thot: c'est ce qu'il appelle l'ère de Ménophrès; et il la dit séparée de la fin de l'ère d'Auguste, ou de la 1032e de Nabonassar, par un intervalle de 1605 ans, qu'il faut supposer être des années vagues de 365 jours; car on va voir qu'il les emploie comme telles dans tout son calcul, contrairement à ce que j'avais autrefois pensé. Alors il évalue le retard progressif du lever dans les années vagues consécutives depuis cette concordance primitive jusqu'à l'époque quelconque qu'il veut considérer postérieurement; et ajoutant ce retard, exprimé en jours, à la date primordiale premier thot, il obtient la date du phénomène dans l'année vague à laquelle il veut s'arrêter. C'est la première partie de son opération.

Pour démontrer ce principe numérique de la règle de Théon, je l'applique à l'exemple qu'il a choisi lui-même.

On demande la date égyptienne du lever héliaque pour la 100e année vague de Dioclétien. La première année de l'ère de Dioclétien est le

---

demeuré fixe par l'intercalation; de sorte que le lever héliaque qui suit la même période quadriennale y est resté attaché à une même date pendant tout cet intervalle de temps.

(1) Ce sont les 21 années qui se sont écoulées depuis la réforme julienne jusqu'à la fixation du thot alexandrin. Il les supprime dans le calcul des tétraétérides fixes, parce que, pendant ces 21 premières années juliennes, le thot égyptien était demeuré vague.

terme où finit l'ère d'Auguste ; c'est la 1032ᵉ de Nabonassar. Voici donc la manière d'opérer :

Intervalle écoulé depuis l'ère de Ménophrès jusqu'à la fin de l'ère d'Auguste, ou au commencement de Dioclétien......	1605 années vagues entières.
Ajoutez 100 années vagues de Dioclétien....................	100
Vous aurez pour somme l'intervalle compris entre l'ère de Ménophrès et la 100ᵉ année de Dioclétien..................	1705
Or, la date égyptienne du lever héliaque retarde d'un jour après quatre années vagues accomplies. Prenez donc le quart de cette somme d'années, et le retard total en jours, compté depuis le 1ᵉʳ thot, sera $\frac{1}{4}$ 1705, ou	426 $\frac{1}{4}$

Ce résultat est propre au parallèle terrestre sous lequel la coïncidence du lever héliaque avec le thot primitif a été observée ou supposée. Pour le transporter à une autre latitude, il faut y ajouter, ou en soustraire, le nombre de jours dont l'époque annuelle du lever héliaque, sous le parallèle que l'on veut considérer, est plus tardive ou plus prompte que sous celui de Ménophrès. C'est ce que Théon paraît d'abord faire, en ajoutant 5 jours aux 426 trouvés directement ; et l'on verra tout à l'heure que cette addition a pour effet d'approprier son résultat définitif à la latitude d'Alexandrie. En ce moment, je me borne à suivre son calcul. Il obtient donc ainsi 431 jours pour le retard total *au delà* du premier thot, en négligeant la fraction $\frac{1}{4}$. Cela porte la date du lever au 432ᵉ jour compté de ce thot, conséquemment au 67ᵉ jour par delà l'année considérée, ce qui le rejette dans la suivante. Alors c'est le lever précédent qui a dû s'opérer dans cette année même ; et comme le phénomène a pour période annuelle $365^{j}\frac{1}{4}$, on peut l'y placer à la même date, c'est-à-dire au 67ᵉ jour, en négligeant la différence de $\frac{1}{4}$ de jour dans cette rétrogradation. Mais Théon échappe à cet inconvénient, parce que, dans l'application qu'il fait de sa règle à l'année alexandrine fixe, le retard total qu'il a besoin d'évaluer se trouve toujours finalement moindre que 365 jours, ou une année vague entière ; de sorte que le lever dont il obtient la date est toujours compris dans l'année qu'il a considérée. On peut remarquer que Théon, dans son énoncé, prescrit de répartir le retard final, non pas *au delà* du premier de thot, mais à compter de ce jour même, ce qui semble une inexactitude. Toutefois ce n'est probablement qu'un artifice qu'il emploie pour simpli-

fier cette répartition, la compensation que ce procédé nécessite pouvant se trouver comprise dans les cinq jours qu'il surajoute au résultat immédiat qui s'en déduit.

Nous n'avons encore effectué que la première moitié de son calcul; pour la seconde, il s'appuie sur le fait déjà rapporté dans ses tables manuelles, qu'à la 5ᵉ année d'Auguste, la 724ᵉ de Nabonassar, le thot alexandrin fixe a coïncidé avec le thot vague; de sorte que la date du lever était alors la même dans ces deux sortes d'années. Mais, depuis cette époque de concours, le lever a continué de retarder, dans l'année vague, d'un jour en quatre ans; au lieu qu'il est resté fixe dans l'année alexandrine, que l'intercalation quadriennale a fait marcher comme lui. Donc, pour trouver la date où il s'est arrêté dans celle-ci, il n'y a qu'à retrancher du retard total, 431ʲ, la portion de ce retard qui a dû s'opérer depuis la concordance des deux thots jusqu'à la 100ᵉ année de Dioclétien, c'est-à-dire pendant un nombre d'années vagues égal à 1032 + 100 — 724 ou 408. Ce nombre divisé par 4 donne 102ʲ, qui, retranchés de 431, laissent pour reste 329. Ceci exprime donc la portion du retard total qui s'est opéré depuis Ménophrès jusqu'à l'année de coïncidence des deux thots, ou la 724ᵉ de Nabonassar, pour le parallèle auquel l'application de la règle a été transportée. Théon prescrit de répartir ce reste à compter du premier thot *inclusivement*, ce qui le conduit au 29 épiphi. C'est en effet la date que la théorie de Ptolémée assigne au lever héliaque de Sirius, sous le parallèle d'Alexandrie, dans l'année égyptienne devenue fixe. Mais, si Théon avait réparti le retard calculé *au delà* du premier de thot, comme il aurait dû le faire, il aurait été conduit au 30 épiphi; ou bien il n'aurait eu que 4 jours à ajouter au lieu de 5, pour ramener son résultat au 29 épiphi, comme il se l'était proposé. Pour le disculper de cette erreur de répartition peu présumable, il faut donc concevoir que, ayant jugé plus commode de commencer l'énumération du retard au premier de thot, il aura compris l'unité de surplus dans son addition ultérieure de 5 jours, dont il n'explique pas le motif; ce qui réduirait à 4 la correction de latitude nécessaire pour rendre le résultat applicable à Alexandrie.

Nous examinerons tout à l'heure à quel parallèle terrestre l'établissement de la période se trouverait reporté par cette réduction ainsi restreinte. Mais je ferai d'abord abstraction de cet accessoire, pour considérer l'appli-

cation de la règle au parallèle primitif, quel qu'il puisse être. Alors le nombre des jours de retard, depuis l'ère de Ménophrès jusqu'à la 100e année de Dioclétien, sera 426 jours moins 102, ou 324 jours, lesquels étant répartis *au delà* du premier de thot, comme on doit le faire, conduiront au 325e jour de l'année devenue fixe, c'est-à-dire au 25e du mois épiphi.

Il est évident que cette manière de calculer conduira toujours à la même date, pour toutes les années alexandrines fixes postérieures à l'année de concordance, du moins en faisant abstraction des cinq jours que Théon a surajoutés. Car il faudra encore, dans tous les cas, retrancher du retard total le retard partiel évalué depuis la fixation du thot jusqu'à l'époque considérée. On obtiendrait donc encore un résultat pareil, si l'on effectuait le calcul pour l'année de la concordance même. En effet, on aurait alors :

De Ménophrès à la fin d'Auguste, 1605 ans : retard du lever dans cet intervalle, $\frac{1}{4}$ 1605 ou...	401j $\frac{1}{4}$
De la concordance des deux thots jusqu'à la fin d'Auguste, c'est-à-dire depuis la 724e année de Nabonassar jusqu'à la 1032e, intervalle 308 ans : retard, $\frac{1}{4}$ 308, ou...............	77
Différence ou retard du lever en jours, depuis Ménophrès jusqu'à l'année de concordance..	324 $\frac{1}{4}$

Ceci, étant réparti *au delà* du premier de thot, conduit au 325e jour de l'année, ou au 25 épiphi, comme précédemment, en négligeant toujours la fraction $\frac{1}{4}$. Dans cet exemple, l'intervalle compris entre l'ère de Ménophrès et l'époque de concordance des deux thots, fixe et vague, est évidemment 1605-308, ou 1297 années vagues complètes. La date trouvée le 25 épiphi, plus $\frac{1}{4}$, précède seulement d'un jour, ou même de $\frac{3}{4}$ de jour, celle du 26 épiphi, que l'on trouve directement par la théorie de Ptolémée quand on l'applique au parallèle de Memphis, avec la latitude qu'il assigne à cette ville, et avec le même arc de dépression du soleil qu'il a adopté pour le lever héliaque de Sirius.

Pour comparer cette date, 25 épiphi fixe, avec le 20 juillet fixe assigné par Censorin, comme l'époque annuelle du lever de Sirius sur laquelle se règle le cycle dont il parle, il faut la convertir en date julienne, d'après le rang de l'année de Nabonassar à laquelle elle appartient. Nous avons vu que c'est la 724e. Or les tables de concordance montrent que le premier thot de cette année-là est compris dans l'année 4689 de la période julienne, laquelle est bissextile, et identique avec la 25e avant l'ère chrétienne, selon le mode de computation des chronologistes. En adoptant le premier

énoncé, pour n'avoir à considérer que des nombres positifs, le calcul de concordance s'établira comme il suit :

1er thot de la 724e année de Nabonassar, identique avec le 29 août de l'année bissextile 4689, ou, de cette même année, le jour	242^{e}
Ajoutant le retard du lever héliaque *au delà* du 1er thot	$324\frac{3}{4}$ jours,
on aura la date de ce lever compté du 1er janvier 4689 : jour	$566^{e}\frac{3}{4}$
De là retranchant 366 jours, durée de cette même année	366
on a la date julienne du lever dans l'année commune 4690, jour	—$200^{e}\frac{3}{4}$.

Ceci le place entre le 19 et le 20 juillet, à $\frac{3}{4}$ de jour avant la date du 20 juillet fixe, assignée par Censorin. Mais le phénomène n'étant pas rigoureusement assignable dans cette limite d'écart, on ne peut pas attribuer avec sûreté cette inégalité d'indication à une différence de parallèle. Et, en effet, on va voir qu'elle résulte seulement de ce que Théon place le jour intercalaire des levers successifs autrement que Censorin ; ou, si l'on veut, il calcule leurs retards à partir d'un terme différent de la période quadriennale, dans laquelle le premier de thot reste *numériquement* héliaque, comme Dodwell avait été conduit à le reconnaître par une autre voie. Pour établir ce fait, je forme le tableau suivant, qui présente la marche progressive des retards des levers pendant une révolution complète du phénomène, disposée conformément au mode de calcul appliqué par Théon.

	RANG ORDINAL des années vagues comptées depuis l'époque de la première coïncidence du lever héliaque avec le prem. jour du mois thot.	NOMBRE DES ANNÉES vagues écoulées depuis la coïncidence primitive jusqu'au premier de thot de l'année considérée.	RETARD DU LEVER au delà du premier thot primitif, après ce nombre d'années révolues, exprimé en jours et fractions de jour.	DATE ABSOLUE du lever, appartenant à l'année considérée, l'énumération étant faite à partir du premier de thot de cette même année.	
Origine.	1re	0	0 j.	1er thot.	
	2e	1	$\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	
	3e	2	$\frac{2}{4}$	1 $\frac{2}{4}$	
	4e	3	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	
	5e	4	1	2	
	6e	5	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{4}$	
	7e	6	1 $\frac{2}{4}$	2 $\frac{2}{4}$	
	8e	7	1 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{3}{4}$	
	9e	8	2	3	
	etc.	etc.	etc.	etc.	
Généralement.	n^e	$n-1$	$\frac{1}{4}(n-1)$	$1+\frac{1}{4}(n-1)$	
	1457e	1456	364	365	Arrivée au dern. épagom. de la 1457e ann.
	1458e	1457	364 $\frac{1}{4}$	365 $\frac{1}{4}$	Dernier épagomène.
	1459e	1458	364 $\frac{2}{4}$	365 $\frac{2}{4}$	Dernier épagomène.
	1460e	1459	364 $\frac{3}{4}$	365 $\frac{3}{4}$	Dernier épagomène.
	1461e	1460	365	366	Arrivée au prem. thot de la 1462e année.
	1462e	1461	365 $\frac{1}{4}$	366 $\frac{1}{4}$	Premier thot.
	1463e	1462	365 $\frac{2}{4}$	366 $\frac{2}{4}$	Premier thot.
	1464e	1463	365 $\frac{3}{4}$	366 $\frac{3}{4}$	Premier thot.

Le calcul de Théon place le commencement de Ménophès à l'origine de cette période. Il fait coïncider sa première année avec la première des quatre où le lever se maintient numériquement au premier de thot. Alors l'année de concordance du thot vague et du thot fixe se trouve être

la 1298e de la série, et l'on a pour cette époque :

$$n = 1298,\quad n - 1 = 1297,\quad \frac{1}{4}(n-1) = 324\frac{1}{4},\quad 1 + \frac{1}{4}(n-1) = 325\frac{1}{4},$$

ce qui porte le lever héliaque de cette année-là au 25 épiphi, comme nous l'avons trouvé directement.

Mais, supposez que Théon eût placé le commencement de son Ménophrès à la 4e année de la première période quadriennale de notre tableau, ce qu'il avait la liberté de faire, puisque le lever reste numériquement fixe au premier jour de thot pendant les quatre années qui la composent. Alors l'année de concordance du thot vague et du thot fixe serait descendue de trois rangs dans la série. Au lieu d'être la 1298e, elle aurait été la 1301e.

Il aurait donc eu, pour ce cas :

$$n = 1301,\quad n - 1 = 1300,\quad \frac{1}{4}(n-1) = 325,\quad 1 + \frac{1}{4}(n-1) = 326.$$

Cela aurait porté le lever héliaque de cette année-là au 26 épiphi fixe, comme on le trouve pour le parallèle de Memphis, par la méthode de Ptolémée; et, comme lui aussi, on l'aurait eu à Alexandrie le 29, en ajoutant 3 jours pour la différence des parallèles, ce qui est encore conforme à ses évaluations. Maintenant, puisque Théon arrive aussi à ce même 29 épiphi, en ajoutant 5 jours au résultat immédiat du calcul numérique, il faut que, de ces cinq, un soit ajouté pour compenser l'erreur que produirait l'énumération des jours de retard à partir du premier thot, un autre pour reporter l'origine des années au commencement de la période quadriennale dans laquelle le thot demeure héliaque, afin de rendre le calcul plus facile ; après quoi, les trois de surplus restent pour l'excès de la latitude d'Alexandrie, sur celle du parallèle auquel le calcul du lever est censé s'appliquer primitivement. Et alors ce parallèle primitif ne peut être que celui de Memphis.

On est conduit à la même conséquence en appliquant la règle de Théon à la 1re année d'Antonin. Cette année est la 885e de Nabonassar. Sa distance à la 1032e, fin de l'ère d'Auguste, est 147 ans vagues, qui, retranchés de 1605, laissent pour reste 1458. Ce sera donc la 1459e de notre tableau, en l'y rangeant à partir de la première ligne, comme le fait Théon. Or on voit,

dans la quatrième colonne, que la date du lever ainsi calculée s'y trouvera répondre au dernier épagomène. Mais, supposez qu'on commence la répartition des années à partir de la troisième ligne du tableau, ce qui sera également permis. Alors l'année proposée deviendra la 1462ᵉ de la série; et le lever héliaque qui lui appartient arrivera le 366ᵉ jour à compter de son premier thot. Il coïncidera donc avec le premier de thot *de l'année suivante*, laquelle sera la 886ᵉ de Nabonassar, ou la deuxième d'Antonin, exactement comme Censorin le dit. On arriverait encore au même résultat si l'on calculait le retard des levers, pour cette même première année d'Antonin, par la règle de Théon, en la considérant avec lui comme la 1459ᵉ de la série, et distribuant les jours de retard, $364\frac{2}{4}$, à compter du premier thot inclusivement, ainsi qu'il le fait encore; pourvu qu'ensuite, à son exemple, on ajoute un jour pour compenser l'erreur de ce mode d'énumération, et un autre jour en sus pour ramener la distribution des années à avoir son origine au dernier terme de la première période quadriennale. Cela ne laissera plus que les trois jours ultérieurement nécessaires pour transporter la date du phénomène, de Memphis à Alexandrie. On voit donc, par cette discussion, que les résultats du calcul de Théon, correctement analysés, ne diffèrent pas des indications de Censorin ; et qu'ils conviennent à un même cycle de 1461 années vagues, dont l'époque d'accomplissement à la 2ᵉ année d'Antonin est celle-là même que la théorie de Ptolémée assigne pour la coïncidence du lever héliaque de Sirius, sous le parallèle de Memphis, avec le thot vague de ce temps. De sorte que, pour déduire de là l'époque de son accomplissement antérieur, appelée par Théon l'*ère de Ménophrès*, c'est-à-dire, comme on peut le croire, l'*ère sacrée de Memphis*, il n'a fallu qu'effectuer un calcul de rétrogradation numérique, procédant par périodes quadriennales de 365 jours intercalées, comme notre tableau les présente. Ainsi, bien loin de trouver, dans ce procédé de calcul, l'indice d'une ancienne détermination, qui aurait été rattachée aux temps postérieurs par une chronographie datée et continue, il y faut voir la preuve matérielle du fait contraire. Car il serait comme impossible qu'une détermination fondée sur des observations réelles eût conduit juste à un thot héliaque postérieur, si exactement conforme aux résultats des hypothèses et des calculs de Ptolémée, appliqués au même parallèle terrestre, celui de Memphis, et à la même année, la 2ᵉ d'Antonin.

NOTE TROISIÈME.

SUR LES PHASES D'ILLUMINATION DES PYRAMIDES DE MEMPHIS.

§ 1. — *Phénomènes d'illumination opérés sur la face boréale.* Fig. 3 et 4.

Je considère d'abord la face boréale de la grande pyramide. Elle est représentée en projection horizontale dans la fig. 3, et en perspective dans la fig. 4, par le triangle ABD. AB est l'arête de sa base, dirigée suivant la ligne d'est-ouest. DC est son apothème, dirigée du sommet D au milieu C de la base AB, et perpendiculaire à celle-ci, à cause de l'égalité des côtés DA, DB. La droite MCN, menée par le point C dans le plan de l'horizon perpendiculairement à AB, est la ligne méridienne. Si, par cette ligne, et l'apothème DC, fig. 4, on conçoit un plan indéfini, ce sera le méridien local qui passe par le milieu de la base AB, et qui est normal à la face ABD. Par le même point C, je mène la droite indéfinie CP dirigée au pôle céleste élevé sur l'horizon du lieu. Elle sera aussi dans le plan du même méridien, que je suppose être celui de la figure. Alors l'angle PCN sera la hauteur H du pôle, que je suppose égale à 30°; et l'angle DCM sera l'inclinaison I de la face sur le plan de sa base, inclinaison que je fais égale à 52° en nombres ronds. Nous aurons plus tard besoin de l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur: je la prendrai égale à 24°, ce qui était à peu près sa valeur dans ces anciens temps.

Du point C, fig. 4, dans le plan du méridien, qui est aussi celui de la figure, je mène la droite indéfinie CQ perpendiculaire à CP. Elle représentera la trace de l'équateur sur ce plan. Je prolonge aussi indéfiniment la droite CD vers D'. D'après les conventions précédentes, l'angle D'CM, plus l'angle PCN, font en somme 52° + 30° ou 82°. En retranchant cette somme de 180°, on a l'angle D'CP, qui sera de 98°. Ce sera la distance polaire de l'apothème DC; je la désignerai désormais par Δ'. Comme l'angle QCP est de 90°, par construction, on voit que l'apothème CD, prolongée en D', passe au-des-

sous du plan de l'équateur, et qu'elle lui est inférieure d'une quantité angulaire D'CQ, égale à 8°.

Maintenant, je fais abstraction du diamètre apparent du soleil ; et, considérant cet astre comme un simple point, je suppose qu'à un instant quelconque, un rayon solaire C*s* vienne raser la face de la pyramide, dans sa moitié orientale, en formant avec l'apothème l'angle DC*s*, que je désigne par φ. Je prends ce cas pour type des raisonnements ; mais le même calcul s'appliquera à celui où la direction de C*s* serait occidentale, en faisant φ négatif dans les formules, au lieu de le supposer positif. L'angle *s*CP sera, pour cet instant, la distance angulaire actuelle du centre du soleil au pôle P ; je la désigne par Δ. Alors, ayant prolongé C*s* indéfiniment, je décris autour du centre C une sphère d'un rayon arbitraire, qui coupe les rayons visuels CP, CD, C*s*, dans leurs prolongements indéfinis aux points P, D', S ; et, joignant ces points par des arcs de grands cercles, je désigne ceux-ci par les angles qui y correspondent respectivement. L'arc PD' sera ainsi égal à Δ', PS à Δ, D'S à φ; et ces trois arcs formeront, sur la sphère idéale, un triangle sphérique PD'S, lequel sera rectangle en D'. L'angle dièdre D'PS, formé par le plan SCP avec le méridien, sera l'angle horaire correspondant à la direction du rayon solaire CS. Je désigne cet angle par P, en le supposant oriental comme φ, conformément à notre construction. Mais lorsque φ deviendra occidental et négatif, P devra suivre son changement de signe, ce qui le rendra de même négatif et occidental.

Les relations analytiques des trois arcs Δ', Δ, φ, entre eux et avec l'angle horaire P, sont données par le 2e cas des triangles sphériques rectangles, traité dans la Géometrie de Legendre; et elles s'expriment par les deux formules suivantes, où le rayon de la sphère est pris pour unité :

$$(1) \qquad \cos\Delta = \cos\varphi \cos\Delta', \qquad\qquad (2) \qquad \operatorname{tang} P = \frac{\operatorname{tang}\varphi}{\sin\Delta'};$$

et lorsqu'on élimine φ entre elles, on en tire cette troisième (*a*) :

$$(3) \qquad \operatorname{tang}^2 P = \frac{\sin(\Delta + \Delta')\sin(\Delta - \Delta')}{\sin^2\Delta' \cos^2\Delta}.$$

Dans ces équations, Δ' est une quantité connue et constante. Si l'on se

---

(*a*) Pour faire aisément cette élimination, je prends dans l'équation (1) la valeur de $\cos\varphi$; et la

donne arbitrairement l'angle φ, qui détermine la direction du rayon solaire central que l'on suppose tangent à la face, elles feront connaître la distance polaire Δ qui lui donne cette direction, et l'angle horaire P dans lequel elle s'opère. La réalité ou la non réalité des valeurs ainsi obtenues apprendra si la condition de tangence demandée est possible, ou impossible, pour la valeur attribuée à l'angle φ. On aura donc ainsi toutes les circonstances du phénomène considéré. A la vérité, on ne déterminera ainsi que l'état d'illumination tangentielle de la face par le centre de l'astre, et non pas par le premier ou le dernier bord de son disque, qui doivent précéder cet état ou lui succéder. Mais, pour arriver à ces derniers détails, il faudrait tenir compte du demi-diamètre du soleil, évalué dans la direction suivant laquelle il arrive sur la face, ce qui compliquerait beaucoup les formules; et les changements qui en résulteraient dans l'application des angles Δ et P, modifieraient seulement les époques absolues de l'illumination, non sa marche générale, qui est ici la seule chose intéressante à considérer. Je continuerai donc à suivre les conséquences des formules relativement à l'illumination centrale, excepté pour un seul cas, où l'influence du diamètre est spécialement importante à apprécier; alors j'aurai soin d'en tenir compte.

Pour ne pas appliquer aveuglément nos formules, il sera utile de nous y préparer par la considération des circonstances géométriques générales que notre construction met déjà en évidence. Nous avons reconnu que notre triangle D'PS a son côté PD', ou Δ', égal à 98°; de sorte qu'il surpasse un angle droit. Or, dans un triangle sphérique rectangle ainsi constitué, l'hypoténuse PS ou Δ est d'abord égale à Δ' quand le côté φ, ou l'angle P, sont nuls; et, à partir de cette valeur, elle va toujours *en diminuant*, jusqu'à ce

---

substituant dans l'équation (2) j'en tire $\sin\varphi$ linéairement. J'obtiens ainsi :

$$\cos\varphi = \frac{\cos\Delta}{\cos\Delta'}, \qquad \sin\varphi = \operatorname{tang} P \frac{\sin\Delta'\cos\Delta}{\cos\Delta'}.$$

Or on a toujours

$$\cos^2\varphi + \sin^2\varphi = 1.$$

Substituant dans celle-ci pour $\cos\varphi$ et $\sin\varphi$ leurs expressions précédentes, il en résulte

$$\frac{\cos^2\Delta}{\cos^2\Delta'}(1 + \operatorname{tang}^2 P \sin^2\Delta') = 1;$$

et dégageant $\operatorname{tang}^2 P$, on a :

$$\operatorname{tang}^2 P = \frac{(\cos^2\Delta' - \cos^2\Delta)}{\sin^2\Delta'\cos^2\Delta} = \frac{\sin(\Delta+\Delta')\sin(\Delta-\Delta')}{\sin^2\Delta'\cos^2\Delta}.$$

que ces deux angles deviennent simultanément égaux à 90°. C'est aussi ce que montre notre formule (1). En effet Δ′ surpassant 90°, cos Δ′ est négatif. En outre, tant que φ est compris entre 0° et 90°, son cosinus est positif. Donc, pour toutes ces valeurs de φ, le produit qui exprime cos Δ est pareillement négatif, c'est-à-dire que l'angle Δ′ surpasse un droit. Mais sa valeur négative décroît à mesure que φ augmente ; c'est-à-dire que Δ′ se rapproche de plus en plus de l'angle droit, et lui devient égal quand φ atteint 90°, ce qui rend cos φ et cos Δ nuls simultanément. Ces résultats étant appliqués à notre figure 4, se traduisent par les conséquences suivantes :

L'illumination tangentielle de la face boréale ABD, par le centre du soleil, ne peut avoir lieu pour aucune distance polaire de cet astre qui surpasse 98°. Elle ne commence donc à s'opérer qu'au moment de l'année où Δ atteint cette valeur, c'est-à-dire lorsque la déclinaison du soleil est de 8° australe. L'illumination se fait alors par le sommet D de la face, suivant la direction CD ; et l'angle P est alors nul comme l'angle φ ; c'est-à-dire que cela a lieu au moment de midi. A partir de cette époque, Δ devenant moindre, correspond à des valeurs de φ et de P plus grandes ; ce qui signifie que la face commence à être illuminée tangentiellement par un rayon CS plus écarté de son apothème, et pour une valeur plus grande de l'angle horaire P. Elle l'est donc alors avant midi, et aussi après, à un même intervalle, puisque tang P est donné par une expression du second degré qui, lorsqu'elle fournit des valeurs réelles, en donne deux égales et de signes contraires. Lorsque φ atteint 90°, son cosinus devient nul ainsi que cos Δ ; et tang P devient infini, positif ou négatif, ce qui montre que Δ et P sont tous deux droits. Alors l'illumination s'opère, suivant l'arête AB de la base, dans l'horizon même. La distance polaire Δ étant 90°, le soleil est dans l'équateur, c'est-à-dire que cela a lieu aux époques des deux équinoxes ; et enfin P étant 90°, il est six heures du matin. Tout cela est conforme à ce que j'ai dit dans le texte du mémoire.

Si l'on fait croître φ au delà de 90°, les valeurs de son cosinus deviennent négatives, et croissent d'autant plus dans ce sens qu'on l'augmente davantage, jusqu'à atteindre finalement la limite — 1, lorsqu'on supposerait φ égal à 180. Dans cette seconde période de variation, cos Δ devient positif et va toujours en augmentant. Cela signifie que l'angle Δ, correspondant aux valeurs supposées de φ, est moindre que 90°, et devient de plus

en plus petit à mesure que φ augmente. De pareilles valeurs de Δ se réaliseront chaque année, quand le soleil sera au nord de l'équateur, entre les époques des équinoxes et celle du solstice d'été. Mais, dans ce nombre, celles-là seules qui répondront à des déclinaisons boréales moindres que 8°, satisferont analytiquement aux conditions de tangence supposées par notre problème. En effet, la plus grande valeur négative de $\cos \varphi$, qui est -1, donne $\cos \Delta$ égal à $-\cos \Delta'$, conséquemment Δ égal au supplément de Δ', qui est $180° - 98°$ ou 82°. Et si l'on voulait supposer Δ moindre que cette limite, dans notre équation (1), la valeur négative de $\cos \varphi$, qui en résulterait, dépasserait -1, ce qui rendrait l'angle φ imaginaire. Or le soleil atteint annuellement, au nord de l'équateur, des valeurs de Δ beaucoup moindres que 82°; puisqu'en supposant l'obliquité de l'écliptique de 24°, comme nous le faisons, Δ devient, au solstice d'été, $90° - 24°$, ou 66°. Ces résultats analytiques s'interprètent aisément lorsqu'on les traduit en géométrie. Nous avons reconnu qu'en faisant l'angle φ égal à 90°, l'illumination tangentielle à la face ADB de la pyramide s'opère, quand le soleil est à l'horizon, sur le prolongement de l'arête AB de la base. Les valeurs de φ, plus grandes que celles-là, donnent des valeurs de Δ, avec lesquelles le phénomène s'opérerait sur le plan de la même face, prolongé idéalement dans l'intérieur de la terre. Pour l'extrême limite possible de φ, qui est 180°, il aurait lieu ainsi sur le prolongement inférieur de l'apothème DC, au moment de minuit, la déclinaison boréale du soleil étant de 8°, c'est-à-dire égale à l'australe, qui réalise l'illumination instantanée de la même face au moment de midi. Pour les déclinaisons boréales plus grandes que 8°, il n'y a plus d'illumination tangentielle, même idéale; parce que le cône diurne, décrit par les rayons solaires autour de l'axe du pôle, reste tout entier au nord du plan de la face ABD, prolongé indéfiniment. Ainsi, en revenant aux réalités, entre les époques des équinoxes et celle du solstice d'été, la portion ABD de ce plan, qui constitue la face boréale de la pyramide, est illuminée tout le long du jour, et ne rentre dans l'ombre qu'après le coucher du soleil.

La seule particularité de ces phénomènes qui soit essentielle à calculer numériquement, est donc l'époque de l'année où le rayon solaire, dirigé suivant l'apothème DC, vient tout à coup illuminer, pour un instant, la face entière au moment de midi. Le soleil étant alors au méridien, il est facile d'obtenir cette époque en toute rigueur, sans négliger le demi-diamètre du disque. Car cela arrivera évidemment, lorsque la déclinaison

australe du centre de l'astre sera égale à 8°, plus le demi-diamètre, plus la réfraction pour 52° de hauteur. Je négligerai celle-ci, qui ne s'élève pas à une minute de degré; et prenant le demi-diamètre égal à 16′ en nombres ronds, il faudra chercher l'époque de l'année où la déclinaison australe du centre égale à 8°16′. Car alors le bord supérieur du soleil viendra illuminer la face au moment de midi.

Pour cela, je construis la figure 5, où Q′♈Q représente le grand cercle de l'équateur, E′♈E celui de l'écliptique, et ♈ l'un des nœuds où ces cercles se coupent : nœud que je supposerai, pour fixer les idées, être celui où s'opère l'équinoxe vernal, les résultats étant pareils pour l'autre, par raison de symétrie. Soit S le centre du soleil, SA la déclinaison assignée que je désigne par d, en la figurant comme boréale, pour pouvoir l'employer analytiquement avec le signe positif, par raison de simplicité. Nommons enfin ω l'angle dièdre S♈A des deux cercles, ou l'obliquité de l'écliptique, que nous prenons ici égale à 24°. Soit l la longitude ♈S du soleil, correspondante à la déclinaison d. Le triangle sphérique ♈SA étant rectangle en A par construction, la longitude l se calculera par le 4ᵉ cas des triangles sphériques rectangles de Legendre, et l'on aura ainsi :

$$\sin l = \frac{\sin d}{\sin \omega};$$

alors, en mettant pour d et pour ω leurs valeurs ci-dessus définies, on trouvera

$$l = 20°.42'.5''.$$

Cette valeur de l doit être portée *en avant* de ♈, vers E′, pour être appliquée aux circonstances physiques de notre problème. Pour conclure de là l'intervalle de temps qui sépare le soleil de l'équinoxe, je me bornerai à faire le calcul avec le mouvement moyen de cet astre. Sa valeur, pour un jour, est 0°,59′,8″,33 ou 1° — 0′,51″67. En multipliant cette quantité par 21, on trouve pour produit :

mouvement moyen du soleil en longitude pendant 21 jours, 20°.41′.54″,93.

Cette valeur est presque identique à celle qui nous est donnée. Ainsi, en négligeant la petite différence de 10″ que nous y trouvons, nous voyons que l'illumination instantanée de la face boréale de la pyramide, au moment de midi, aura lieu le 21ᵉ jour *avant* l'équinoxe vernal, et le 21ᵉ *après* l'équinoxe automnal. Car alors le centre du soleil se trouvera avoir une

déclinaison australe de 8°,16′, en ne tenant compte que de son mouvement moyen. Entre ces deux époques, et celles des équinoxes, la face ABD sera éclairée de plus en plus tôt, et pour plus longtemps. Aux jours des équinoxes, elle le sera depuis le lever du soleil jusqu'à son coucher. Enfin, entre ces jours et le solstice d'été, elle sera de même illuminée pendant tout le temps que le soleil sera sur l'horizon, et ne rentrera jamais dans l'ombre. Ce sont les résultats que j'ai annoncés dans le texte du mémoire.

Phénomènes d'illumination opérés sur la face australe. Fig. 3 et 6.

Je considère maintenant les phénomènes d'illumination de la face australe. Elle est représentée, en projection horizontale, dans la fig. 3, par le triangle A′DB′; et, en perspective, par les mêmes lettres, dans la figure 6. Le plan de cette dernière est censé contenir le méridien qui passe par le milieu C de sa base, et qui est normal au plan de la face, comme dans la figure 4, propre à la face boréale. Ces deux figures sont exactement analogues l'une à l'autre; et, pour rendre cette correspondance plus sensible, je désignerai les points et les lignes homologues par les mêmes lettres, dans le reste de la construction. La seule différence, c'est que, ici, l'inclinaison de la face sur le plan de sa base la rapproche du pôle P, au lieu de l'en éloigner. Par suite de cette disposition, l'angle D′CP, compris dans le plan du méridien, entre le prolongement de l'apothème et l'axe du pôle, est égal à 52° — 30° ou 22°; et comme le soleil, dans ses déclinaisons les plus boréales, ne s'approche jamais aussi près du pôle, puisque sa moindre distance polaire est 90° — 24° ou 66°, d'après la valeur de l'obliquité que nous avons admise, il en résulte qu'il illuminera toujours la face au moment de midi, dans toutes les saisons.

Opérant sur ces nouvelles données comme je l'ai fait dans la figure 4, je décris du centre C une sphère indéfinie, qui coupe les trois rayons visuels CD, Cs, CP sur leurs prolongements aux points D′, S, P. Je joins ceux-ci par des arcs de grands cercles, et je forme le triangle D′SP, rectangle en D′ comme celui de la figure 4, dont il ne diffère que par les proportions de ses parties. En conséquence, les mêmes formules algébriques s'y appliqueront généralement; et l'on aura de même, pour conditions de l'illumination tangentielle sur cette nouvelle face, les trois équations suivantes :

(1) $\cos\Delta = \cos\varphi \cos\Delta'$, (2) $\operatorname{tang} P = \frac{\operatorname{tang}\varphi}{\sin\Delta'}$,

(3) $$\operatorname{tang}^2 P = \frac{\sin(\Delta + \Delta')\sin(\Delta - \Delta')}{\sin^2\Delta' \cos^2\Delta},$$

où il faudra seulement donner à Δ' sa valeur actuelle 22°.

Pour développer les conséquences de ces formules, il faut, comme nous l'avons fait pour la face boréale, donner à l'angle indéterminé φ toutes les valeurs positives ou négatives qu'il peut prendre depuis $\varphi = 0$ jusqu'à $\varphi = \pm 180°$, et chercher les valeurs de Δ qui en résultent. Lorsqu'elles se trouveront comprises parmi celles que le mouvement annuel du soleil réalise, l'illumination tangentielle aura lieu pour l'époque de l'année où elles existent, et à l'heure marquée par l'angle horaire P, qui s'en déduira. Mais, lorsque la distance polaire Δ, que les valeurs attribuées à l'angle φ exigent, ne sera pas réalisable, il n'y aura pas d'illumination tangentielle, même idéale, sur la face considérée.

Faisons d'abord φ nul, ce qui suppose le rayon solaire dirigé suivant l'apothème CD au moment de midi. L'équation donnera alors $\Delta = \Delta' = 22°$. Or le soleil ne s'approche jamais aussi près du pôle, puisqu'en supposant l'obliquité de l'écliptique égale à 24°, comme nous l'avons fait, sa plus petite distance polaire annuelle, qui a lieu au solstice d'été, est 90°—24° ou 66°. Ainsi, la face que nous considérons ne sera jamais illuminée tangentiellement au moment de midi ; et le soleil se trouvera toujours élevé au-dessus d'elle à cette heure-là, de sorte qu'elle se trouvera toujours entièrement éclairée alors, comme nous l'avions déjà reconnu par les seules considérations géométriques.

La même impossibilité existera évidemment pour toutes les valeurs plus grandes de φ qui ne donneront pas des valeurs de Δ réalisables. Le phénomène ne commencera donc à être possible que pour celle qui donnera à Δ la moindre de ses valeurs effectives, c'est-à-dire 66°. On peut la conclure de cette condition même, en faisant Δ égal à 66° dans l'équation (1), et y mettant aussi pour Δ' sa valeur actuelle 22°, puis cherchant la valeur de l'angle φ qui complète l'égalité ainsi spécifiée. On a alors

$$\cos\varphi = \frac{\cos 66°}{\cos 22°}, \quad \text{et l'on en tire} \quad \varphi = 68°.58'.50''.$$

L'angle horaire P, qui correspond à cette valeur de φ et de Δ, se calcule

ensuite par l'équation (2), ou directement par l'équation (3); et l'on trouve, en lui donnant son double signe,

$$P = \pm 73^\circ.38'.13'',$$

ou, en divisant cette expression par 15 pour la convertir en temps,

$$P = \pm 4^h.54^m.33^s.$$

D'après ces résultats, le jour du solstice d'été, le soleil commence à illuminer la face australe de la pyramide, cinq heures à peu près avant midi, ou à sept heures du matin : jusque-là elle était dans l'ombre. Il l'éclaire ensuite constamment jusque vers cinq heures du soir, où il la quitte de nouveau, et elle rentre dans l'obscurité.

Si l'on continue de faire croître l'angle φ, depuis la limite que nous venons de déterminer jusqu'à la valeur 90°, son cosinus diminue graduellement en restant positif; et la valeur de Δ qui y correspond dans l'équation (3) est toujours réalisable physiquement. L'angle horaire P est aussi constamment réel, et plus grand que nous ne venons de l'obtenir. Lorsque φ devient égal à 90°, ce qui suppose le rayon solaire dirigé, suivant la trace A'CB' de la face, dans l'horizon même, cos φ est nul; et, par suite aussi, cos Δ; d'où résulte $\Delta = 90^\circ$, valeur que le soleil réalise quand il se trouve dans le plan de l'équateur, au temps des équinoxes. La valeur correspondante de tang P devient infinie, ce qui donne l'angle horaire P égal à $\pm 90^\circ$, ou six heures de temps solaire, de part et d'autre du méridien. Ainsi, à chaque équinoxe, la face commence à être illuminée dès le matin au lever du soleil, et reste éclairée jusqu'à son coucher. Cet énoncé suppose toutefois que la valeur de Δ qui le réalise a lieu le matin même, et reste telle jusqu'au soir; ce qui n'a jamais lieu à la rigueur, à cause de la variation diurne de la déclinaison. C'est pourquoi, dans le texte, j'ai pris pour limite de l'illumination matinale la veille de l'équinoxe et le lendemain de ce jour.

Si l'on fait croître φ au delà de 90°, son cosinus devient négatif et augmente progressivement de valeur. Alors la direction du rayon solaire tangentiel est supposée dans le prolongement idéal de la face, au-dessous de l'horizon réel. Les valeurs de cos Δ qui y correspondent deviennent alors pareillement négatives, ce qui donne des valeurs de Δ plus grandes que 90°. Mais la plus grande de celles-ci, que le soleil réalise annuellement,

a lieu au solstice d'hiver; et, d'après la valeur que nous attribuons à l'obliquité de l'écliptique, elle est égale à $90^\circ + 24^\circ$ ou 114°, ce qui est le supplément de 66°. La plus grande valeur que l'on puisse donner à l'angle indéterminé φ, pour arriver à des applications réelles, est donc celle qui satisfera à l'équation (1) pour cette limite de Δ, en y attribuant toujours à Δ' sa grandeur constante 22°. Ainsi on la tirera de la condition

$$\cos\varphi = \frac{\cos 114^\circ}{\cos\ 22^\circ} = -\frac{\cos 66^\circ}{\cos 22^\circ},$$

ce qui donnera : $\varphi = 180^\circ - 68^\circ.58'.50'' = 111^\circ.1'.10''$;

et ensuite, par les équations (2) ou (3), on trouvera :

$$P = 180^\circ - 73^\circ.38'.13'' = 106^\circ.21'.47'',$$

ou, en temps solaire, $P = 12^h - 4^h.54^m.33^s = 7^h.5^m.27^s$.

Mais le rayon solaire qui raserait le prolongement inférieur de la face A'B'D, suivant la direction assignée par cette valeur de φ, se trouverait au-dessous de l'horizon physique, et l'on ne pourrait pas saisir l'instant où il la toucherait. Cette conséquence s'applique à toutes les suppositions que l'on ferait pour φ depuis 90° jusqu'à la limite précédente. Ainsi, dans tout l'intervalle de temps compris entre les équinoxes et le solstice d'hiver, la face australe de la pyramide sera éclairée tout le long du jour, depuis le lever du soleil jusqu'à son coucher. C'est ce que j'ai dit dans le texte du mémoire.

Phénomènes d'illumination opérés sur les faces orientale et occidentale.

Pour calculer ces phénomènes avec le moins de complication possible, j'ai besoin d'une construction auxiliaire que j'établis dans la figure 7. A'A est la trace horizontale de la face orientale A'DA, fig. 3; trace qui coïncide avec la ligne méridienne MN. Cette face elle-même est figurée, en perspective, dans la fig. 7, par le triangle A'DA, qu'il faut concevoir s'élevant de 52° au-dessus du plan de l'horizon, à l'occident du méridien élevé sur A'A. Par le milieu C de sa base, je mène, dans ce méridien, l'axe polaire CP, qui s'élève à la hauteur de 30° au-dessus de l'horizon. Puis, par le même point C, je mène les droites indéfinies CZ, CDD', la première suivant la verticale, la seconde suivant l'apo-

thème CD. Alors je décris autour de C une sphère d'un rayon arbitraire, qui coupe les rayons visuels CP, CZ, CD′ en P, Z, D′; et, joignant ces trois points d'intersection par des arcs de grands cercles, j'obtiens le triangle sphérique PD′Z, qui est évidemment rectangle en Z, par construction. Dans ce triangle, on connaît premièrement le côté D′Z, qui est le complément de l'inclinaison I de la face sur le plan de sa base. Cette inclinaison, qui était de 52°, donne D′Z égal à 38°. Secondement, on a le côté ZP, complément de la hauteur H du pôle, laquelle, étant de 30°, donne ZP égal à 60°. On peut donc calculer en nombre les trois autres éléments du triangle, c'est-à-dire l'angle dièdre en D′ que je nomme V; l'angle dièdre en P que je nomme P′, lequel est aussi l'angle horaire occidental, dans lequel est contenu l'apothème CD; enfin le côté PD′, distance polaire de cette même apothème, et que je désigne par Δ′. Ce calcul rentre dans le 2[e] cas des triangles rectangles de Legendre; et, en mettant dans ses formules les valeurs angulaires assignées aux deux côtés connus, on obtient les résultats suivants :

$$\cos \Delta' = \sin I \sin H, \qquad \Delta' = 66^\circ.47'.46'',$$

$$\tang V = \frac{1}{\tang H \cos I}, \qquad V' = 70^\circ.25'.55'',$$

$$\tang P' = \frac{1}{\tang I \cos H}, \qquad P' = 42^\circ.\ 3'.19'' \text{ occidental},$$

ou, en divisant ce dernier angle par 15, pour le convertir en temps solaire :

$$P' = 2^h.48^m.13^s, \text{ après midi.}$$

Je passe maintenant à la figure 8, qui est pareillement relative à la face orientale. Elle se compose d'abord des éléments de la figure 7. Elle contient les mêmes lignes et les mêmes arcs, désignés par les mêmes lettres. Pour y introduire la condition d'illumination tangentielle, je suppose que celle-ci soit réalisée par un rayon solaire central C*s*, dirigé du centre C dans le plan de la face; et je désigne généralement l'angle DC*s* par la lettre φ, à laquelle j'attribuerai le signe positif quand elle se dirigera au nord de l'apothème comme dans la figure 8, et le signe négatif quand elle passera au sud de cette ligne comme dans la figure 9, laquelle est identique à la figure 8, sauf cette modification. Revenant donc à celle-ci, je prolonge indéfiniment le rayon solaire C*s*; et autour du point C, avec le rayon déjà arbitraire employé dans la figure 7, je décris la même sphère, qui va couper C*s*

sur son prolongement en S, et les autres droites CD, CP, CZ, aux points D′, P, Z, identiques à ceux de la figure 7. Joignant d'abord ceux-ci par des arcs de grands cercles, je reproduis le triangle rectangle PD′Z de la figure 7, avec ses mêmes éléments constitutifs. Puis, joignant de même le nouveau point d'intersection S avec D′ et P, je forme un second triangle PD′S, lequel se trouve à l'occident du plan horaire PCD′ dans la figure 8, et à l'orient de ce même plan dans la figure 9. Le côté PD′ de ce triangle lui est commun avec le triangle D′PZ; il est égal à Δ′, dont nous avons déjà calculé la valeur. En outre, l'angle SD′Z est droit par construction ; et l'angle PD′Z est V, que nous avons aussi calculé. Conséquemment l'angle SD′P du nouveau triangle est $90^\circ - V$ dans la figure 8, et $90^\circ + V$ dans la figure 9. Sa valeur nous sera donc connue pour chacun de ces cas.

Enfin, puisque le rayon solaire CS est supposé dans le plan de la face A′DA, PCS est le plan horaire qui contient le centre du soleil au moment où le phénomène de tangence a lieu; et l'arc PS, ou Δ, est la distance polaire de l'astre, à ce même instant. On aura donc sa valeur pour chaque époque de l'année que l'on voudra considérer. Si on se la donne, on connaîtra dans le triangle PSD′ trois choses, savoir: les deux côtés PD′ ou Δ′, PS ou Δ, et l'angle PD′S qui est $90 - V$ dans la figure 8, $90^\circ + V$ dans la figure 9. On pourra donc résoudre ce triangle, et trouver l'angle dièdre SPD′ que je désigne par Π, ainsi que l'arc SD′ ou φ qui détermine la direction du rayon solaire, au moment où il se trouve dans le plan de la face ABD, comme on l'avait demandé.

Lorsque l'application aura lieu pour la figure 8, c'est-à-dire lorsque φ sera positif dans nos formules, l'angle dièdre Π, *étant ajouté* à P′, donnera pour somme l'angle dièdre SPZ, que le plan horaire actuel du soleil forme avec le méridien local au moment où le phénomène a lieu. Cet angle étant divisé par 15 pour le convertir en temps solaire, indiquera l'heure du phénomène, laquelle, dans de telles circonstances, sera *toujours* post-méridienne pour la face que nous considérons. Après cet instant, le mouvement diurne fera descendre le soleil au delà du plan de la face, et elle rentrera dans l'ombre pour le reste de la journée. Il est d'ailleurs évident qu'elle est éclairée dès le lever du soleil dans tous les temps de l'année, puisque ce lever s'opère toujours à l'orient de la trace AA′. Ainsi l'instant de chaque jour où elle rentre dans l'ombre est le seul élément

essentiel à calculer ; et nous venons de voir comme on peut l'obtenir.

Lorsque l'application aura lieu pour la figure 9, c'est-à-dire lorsque φ sera négatif dans nos formules, l'angle horaire SPZ, qui amène le centre du soleil dans le plan de la face, sera égal à $P' - \Pi$. Le calcul numérique nous fera voir que, dans toutes les positions annuelles du soleil, Π est moindre que P' ; en sorte que $P' - \Pi$ est positif, même au solstice d'hiver. L'angle horaire SPZ est donc *toujours* occidental pour la face orientale que nous considérons, quel que soit le signe de φ, et quelle que soit la saison de l'année que l'on considère. Sa valeur convertie en temps solaire donnera l'heure, *toujours* post-méridienne, à laquelle le soleil abandonne cette face après l'avoir éclairée depuis son lever.

La face occidentale de la pyramide B'DB, fig. 3, qui est opposée à l'orientale A'DA, s'élève, vers l'orient du zénith, exactement comme celle-ci s'élève vers l'occident du même point. Elles sont toutes deux disposées symétriquement autour du plan du méridien élevé sur l'arête de leur base. Les conditions qui amènent le soleil dans leur plan seront donc pareilles, si ce n'est que le plan horaire de cet astre formera, avec le plan du méridien local, des angles de sens opposés. Ainsi, pour chaque valeur donnée de la distance polaire Δ, le phénomène s'opérera à des heures équidistantes de midi. Elles seront post-méridiennes pour la face orientale A'DA, et antéméridiennes pour son opposée occidentale B'DB. Ce sera, sur la première, une époque de disparition, à laquelle succédera l'obscurité durant tout le reste du jour ; et ce sera pour la seconde une époque de première illumination, après laquelle le soleil continuera de l'éclairer jusqu'à son coucher.

Il nous suffira donc d'effectuer ces déterminations relativement à la face orientale A'DA ; car nous en déduirons aussitôt leurs analogues pour son opposée occidentale, par les conditions de symétrie que je viens d'expliquer. Quand nous connaîtrons l'heure post-méridienne après laquelle l'orientale cesse d'être illuminée à un certain jour, et la même heure anté-méridienne après laquelle l'occidentale commence à l'être, la somme de ces heures, c'est-à-dire le double de l'une d'elles, exprimera l'intervalle de temps pendant lequel, ce jour-là, les deux faces sont éclairées à la fois.

J'établis donc le calcul pour la face orientale, et je prends la figure 8 comme type de raisonnement. Les formules que nous obtiendrons, d'après elle, s'appliqueront d'elles-mêmes à la figure 9, en rendant φ négatif, au lieu

de positif que nous allons le supposer. Considérant donc, dans la fig. 8, le triangle sphérique SPD′, l'angle en D′, que je désigne généralement par A, y sera compris entre les côtés φ et Δ′. Ainsi, d'après le 3e cas des triangles sphériques obliquangles de Legendre, le côté Δ, opposé à l'angle A, sera donné par la formule suivante :

$$(1) \qquad \cos\Delta = \sin\varphi \sin\Delta' \cos A + \cos\varphi \cos\Delta'.$$

Lorsque les arcs φ et Δ, qui se correspondent, seront ainsi déterminés d'après la valeur assignée arbitrairement à l'un d'eux, on obtiendra l'angle dièdre Π, par la relation de proportionnalité des sinus, qui donnera :

$$(2) \qquad \sin\Pi = \frac{\sin A \sin\varphi}{\sin\Delta},$$

Il faut maintenant remplacer A par sa valeur spéciale, qui nous est connue. Dans la figure 8 que nous prenons pour type, cette valeur est $90^\circ - V$, ce qui change cos A en sin V, et sin A en cos V. On a ainsi pour ce cas :

$$(1) \qquad \cos\Delta = \sin\varphi \sin\Delta' \sin V + \cos\varphi \cos\Delta',$$

$$(2) \qquad \sin\Pi = \frac{\cos V \sin\varphi}{\sin\Delta}.$$

Si l'on opérait sur la figure 9, A devrait être fait égal à $90^\circ + V$, ce qui donnerait pour cos A la valeur — sin V, et pour sin A la valeur cos V, comme précédemment. Les formules (1) et (2) obtenues par cette substitution seraient donc identiques aux deux que nous venons de former, sauf que le terme de la première, qui contient sin φ, se trouverait avoir acquis le signe négatif, et qu'en outre il faudrait soustraire l'angle Π de la valeur de P′ au lieu de l'y ajouter, ce qui reviendrait encore à intervertir le signe de sin φ dans l'expression de sin Π. On voit donc par là que les formules (1) et (2), établies en prenant la figure 8 comme type, s'appliqueront d'elles-mêmes à la figure 9, pourvu que, dans le calcul numérique, on y fasse φ négatif, de positif qu'il était auparavant. J'opérerai ainsi dans ce qui va suivre, en considérant toujours la face orientale A′DA. Lorsque l'on se donne φ, et que l'on cherche Δ et Π, nos deux formules les déterminent directement. Par exemple, si l'on suppose φ nul, ce qui ramène le rayon solaire CS sur l'apothème CD, elles donnent $\Delta = \Delta'$ et $\Pi = 0$, ce qui réduit le triangle à son côté PD, comme cela devait évidemment arriver. La solu-

tion est encore facile, pour le temps des équinoxes. Car alors la distance polaire Δ du soleil étant 90°, on a $\cos\Delta = 0$, et $\sin\Delta = 1$. La première condition anéantit le premier membre de l'équation (1); et, en la divisant par $\cos\varphi$, elle donne $\operatorname{tang}\varphi$ immédiatement. L'équation (2) détermine ensuite $\sin\Pi$ par la valeur trouvée de φ, en faisant $\sin\Delta = 1$. On a donc, pour ce cas spécial :

$$\operatorname{tang}\varphi = -\frac{1}{\sin V \operatorname{tang}\Delta'}, \qquad \sin\Pi = \cos V \sin\varphi.$$

Le signe négatif de $\operatorname{tang}\varphi$ montre que l'illumination tangentielle s'opère alors, le rayon solaire CS étant au sud de l'apothème CD, ce qui, par suite, rend également Π négatif, conséquemment soustractif de P'. Il ne reste donc qu'à remplacer les angles V et Δ' par leurs valeurs qui nous sont connues, pour obtenir φ et Π en nombres. On trouve ainsi, à l'époque considérée :

$\varphi = -24^\circ.27'.49''$ $\Pi = -7^\circ.58'.21''$, ou en temps..........	$\Pi = -0^h.31^m.53^s$
Nous avons déjà trouvé, en temps..........................	$P' =$ $2^h.48^m.13^s$ après midi.
Donc, *heure de disparition* du soleil sur la face orientale : au temps des équinoxes....................................	$2^h.16^m.20^s$ après midi.
Et, par suite : *heure d'apparition* du soleil sur la face occidentale à la même époque....................................	$2^h.16^m.20^s$ avant midi.

Pour les autres temps de l'année, si l'on veut trouver φ, étant donné Δ', il faut renverser l'équation (1), sous sa seconde forme, afin de dégager $\sin\varphi$. A cet effet je transporte le terme $\cos\varphi\cos\Delta'$ dans le premier membre, puis j'élève les deux nouveaux membres au carré. Cela y introduit un terme multiplié par $\cos^2\varphi$, et un autre multiplié par $\cos\varphi$. Je remplace le premier par sa valeur équivalente $1 - \sin^2\varphi$, et je remplace le second par la valeur de $\cos\varphi$ en $\sin\varphi$, tirée de l'équation primitive (1). Après avoir ordonné les termes du résultat relativement à $\sin^2\varphi$, on trouve :

$$(\cos^2\Delta' + \sin^2\Delta'\sin^2 V)\sin^2\varphi - 2\cos\Delta\sin\Delta'\sin V\sin\varphi = \cos^2\Delta' - \cos^2\Delta;$$

et en la résolvant, on en déduit, après quelques réductions faciles :

$$(1)\quad \sin\varphi = \frac{\cos\Delta\sin\Delta'\sin V - [\cos^2\Delta'(\cos^2\Delta' - \cos^2\Delta) + \cos^2\Delta'\sin^2\Delta'\sin^2 V]^{\frac{1}{2}}}{\cos^2\Delta' + \sin^2\Delta'\sin^2 V},$$

Il ne faut prendre que le signe négatif du radical, comme je le fais ici, parce que c'est le seul qui convienne à la question géométrique que nous avons en vue. En effet, la valeur de sin φ doit, par construction, devenir nulle quand Δ est supposé égal à Δ', ce qui aplatit infiniment le triangle PD'S, et le réduit à son côté sphérique PD'. Or le signe négatif du radical reproduit seul cette condition d'identité.

En supposant, comme nous le faisons, l'obliquité de l'écliptique égale à 24°, on a :

au solstice d'été $\Delta = 90° - 24° = 66°$,

au solstice d'hiver $\Delta = 90° + 24° = 114°$.

Ce second angle est le supplément du premier, ce qui rend son cosinus égal et de signe contraire; de sorte que la partie radicale de sin φ est commune aux deux cas. En substituant successivement ces valeurs dans l'équation précédente, on en déduit celles de φ, d'où l'on tire celle de Π; et l'on a ainsi les résultats suivants pour la face orientale que nous considérons :

	VALEUR et signe de φ en arc.	VALEUR et signe de Π en arc.	VALEUR et signe de Π en temps.	REMARQUES.
Au solst. d'été...	$+ 0° 50' 27''$	$+ 0° 18' 27''$	$+ 0^h 1^m 14^s$	Π add. à P': somme $2^h 49^m 27^s$
Au solst. d'hiv...	$- 49° 46' 55''$	$- 16° 15' 26''$	$- 1^h 5^m 2^s$	Π soust. de P': résidu $1^h 43^m 11^s$

Les mêmes nombres se transporteront à la face occidentale, où ils s'appliqueront à des conditions d'apparition du soleil, sur cette face, aux époques considérées. Alors, en réunissant ces résultats à ceux que nous avons déjà trouvés pour les époques des équinoxes, on aura le tableau suivant, qui montre la marche des phases d'illumination de ces faces pendant une année solaire. J'applique le signe + aux angles horaires qui se réalisent sur la face orientale *après midi*, et le signe — à ceux qui s'opèrent sur la face occidentale *avant midi*.

	ANGLES HORAIRES de disparition ou d'apparition du soleil sur les faces orientale et occidentale de la pyramide, ces angles étant considérés comme positifs après midi et négatifs auparavant.		DURÉE de l'illumination simultanée des faces orientale et occidentale, dans un même jour.
	EN ARC.	EN TEMPS.	
Solstice d'été........	± 42° 21′ 46″	± 2h 49m 27s	5h 38m 54s
Équinoxes...........	± 34° 4′ 58″	± 2h 16m 20s	4h 32m 40s
Solstice d'hiver.......	± 25° 47′ 53″	± 1h 43m 12s	3h 26m 24s

Si l'on combine ces résultats avec ceux qui sont relatifs aux faces boréales et australes, que nous avons obtenus plus haut, on aura toutes les indications que j'ai résumées dans le texte du mémoire. Pour les embrasser tous dans une même conception, il n'y a qu'à se figurer les quatre faces de la pyramide prolongées indéfiniment vers le ciel, de manière à former une pyramide creuse, inverse de la véritable. Lorsque le soleil se trouvera dans cet espace, les quatre faces de la pyramide solide seront éclairées simultanément, et ne porteront point d'ombre sur leur base commune. C'est là ce phénomène d'absence d'ombre, si remarqué dans l'antiquité, comme un caractère presque divin de ces monuments.

NOTE QUATRIÈME.

SUR LES PYRAMIDES VOTIVES TROUVÉES DANS LES CATACOMBES D'ÉGYPTE.

L'étude comparée de ces petites pyramides peut conduire à des conséquences extrêmement curieuses. Mais, pour les obtenir, il faudrait que les

scènes religieuses, tracées sur leurs diverses faces, fussent décrites et considérées sous le point de vue des relations de position qu'on leur a données, non moins que pour l'indication individuelle des objets qu'elles représentent.

Champollion n'a traité ce sujet qu'accidentellement; et, dans le passage que j'ai rapporté, les relations dont je parle ne sont pas exposées avec assez d'ordre pour qu'on puisse s'en former une idée précise. M. Lenormant avait depuis longtemps senti l'importance d'un pareil travail, et sa grande connaissance de l'archéologie égyptienne doit faire regretter vivement qu'il n'ait pas pu jusqu'ici s'en occuper. On ne me supposera pas la prétention d'entreprendre une tâche à laquelle je serais si inhabile. Mais, en rassemblant ici le peu de notions que l'on a déjà recueillies sur ces pyramides, j'ai pensé qu'avec les conseils de mon excellent confrère, je pourrais utilement indiquer aux archéologues quelques considérations graphiques, qu'il me semble indispensable de faire concourir à leur étude, pour en rendre les résultats aussi fructueux qu'ils peuvent le devenir.

Suivant le témoignage de Champollion, que l'on peut vérifier dans tous les musées, les sculptures tracées sur les diverses faces de ces pyramides funéraires, présentent toujours le dieu Soleil, sous ses trois formes symboliques, *Phre*, *Atmou* et *Thoré*, soit séparées, soit réunies dans une même barque symbolique, appelée par les antiquaires *la bari céleste*, comme figurant le support des personnages divins qui représentent les astres dans leur course révolutive, tant au-dessus qu'au-dessous de l'horizon. Une prière, toujours la même, est écrite en caractères hiéroglyphiques, et adressée à ces divinités au nom des personnages défunts, à l'intention desquels le monument est construit. D'après des textes que Champollion cite, le soleil, sous la forme *Phre*, à tête d'épervier, paraît présider à la partie orientale du ciel, et, sous la forme *Atmou*, à la région occidentale. L'application de la forme *Thoré*, spécialisée par un scarabée, emblème de la génération du monde, semble avoir une acception plus générale, quoique non pas jusqu'à présent aussi évidemment définie. Or, comme me l'a fait remarquer M. Lenormant, dans les idées astronomico-mythologiques des anciens, il y a une assimilation constante entre la course diurne du soleil et sa course annuelle. Toujours le semestre d'été est assimilé au temps que le soleil passe au-dessus de l'horizon, pendant le

jour; et le semestre d'hiver, à son séjour dans l'hémisphère inférieur du ciel, pendant la nuit. Par une extension psychologique, la première de ces périodes s'assimile encore à la phase de la vie humaine sur la terre; la seconde, à la phase de la mort temporaire, et au séjour des âmes dans les enfers, ou l'Amenti égyptien. Enfin, par une dernière application, spéciale pour l'Égypte, mais devenue commune à tout le monde ancien, les idées de la récolte des grains et des fruits s'associaient au retour du soleil de sa plus haute station dans le solstice d'été, vers sa station la plus basse au solstice d'hiver. Aussi le nom du dieu *Atmou* est-il, en partie, exprimé, dans les hiéroglyphes, par un caractère représentant l'espèce de râteau ou de herse qui est encore aujourd'hui employé en Égypte pour le dépiquage des grains. En effet, en Égypte, la récolte et la rentrée des grains est toujours nécessairement achevée et accomplie au solstice d'été, puisque c'est toujours alors que le Nil commence à croître et que l'inondation se prépare.

Un autre emblème qui se voit habituellement reproduit sur les faces des pyramides funéraires, c'est celui que Champollion traduit par *la montagne solaire*. Il s'emploie dans une acception quelquefois simple, quelquefois double, et il est toujours figuré ainsi : . D'après les textes rapportés dans la Grammaire égyptienne, pages 311, 328, 362, 424 et 503, Champollion le considère comme représentant le soleil surgissant au-dessus de l'horizon oriental, à son lever, ou se plongeant dans l'horizon occidental, à son coucher. Cette interprétation semble indubitable; et, comme me l'a dit M. Lenormant, le caractère dont il s'agit ne fait que reproduire les apparences constantes que l'astre présente, en Égypte, à ces deux instants. Mais, d'après les assimilations d'idées indiquées tout à l'heure, il pourrait bien aussi avoir occasionnellement d'autres significations analogiques, relatives à certaines phases spéciales de la course diurne, ou annuelle, de l'astre : d'autant plus que, sur les pyramides funéraires, cet emblème se voit quelquefois accompagné de rayons qui en émanent, et quelquefois sans rayons; comme aussi, surmonté du sceptre divin appelé *Pat*, ou sans ce sceptre, sur des faces différentes. D'après la fixité des notions attachées par les Égyptiens à leurs formes symboliques, il est à croire que cette diversité de détails répondait à une diversité de significations.

Enfin, sur certaines faces de ces pyramides, on voit encore des cynocéphales adorant la montagne solaire, sans rayons ou avec des rayons, et avec ou sans le Pat. Dans d'autres cas, sur une des faces, ils sont figurés adorant la montagne solaire avec ses rayons; et sur l'opposée ils adorent le soleil rayonnant, sans le signe montagne. Probablement ces dispositions différentes ne sont pas sans motif; et il serait essentiel qu'elles fussent décrites, avec les relations de position qu'ont entre elles les faces où elles sont tracées.

Tous les détails que je viens de mentionner se voient sur les faces des pyramides funéraires qui sont au Musée égyptien du Louvre. Je ne me hasarderai point à les spécifier avec plus de précision, manquant de dessinateurs pour les reproduire, et des connaissances archéologiques nécessaires pour les interpréter. Seulement, M. Dubois, le conservateur de cette collection, m'ayant donné la possibilité de les étudier avec soin, je rapporterai ici deux particularités que j'y ai remarquées : la première, c'est qu'elles ne se terminent pas en pointe, mais par une petite plate-forme parallèle à leur base, comme on croit aujourd'hui être assuré que cela avait lieu pour les pyramides véritables. La seconde, c'est qu'ayant mesuré les longueurs des arêtes de leurs bases et de leurs faces, j'ai trouvé que ces plans formaient, l'un avec l'autre, un angle beaucoup plus grand que dans les pyramides de Memphis. Il était de 62° 33′ pour une des petites pyramides où je l'ai ainsi calculé, et de 64° 59′ pour une autre. Quoique l'état de détérioration des arêtes d'où ces valeurs sont déduites, ne permette pas de les supposer rigoureuses, elles excèdent trop l'angle analogue des pyramides de Memphis, qui est d'environ 52°, pour que l'on puisse supposer que l'on ait voulu se rapprocher de celles-ci, par une imitation intentionnelle de leurs dimensions. Mais les emblèmes divins tracés sur leurs diverses faces, n'en peuvent pas moins y avoir reçu des positions relatives, correspondantes aux points de l'horizon auxquels ils étaient censés se rapporter. Et l'étude comparée d'un grand nombre de ces monuments pourrait très-probablement mettre ces rapports en évidence.

NOTE CINQUIÈME.

DÉTERMINATION DE L'INTERVALLE DE TEMPS QUI S'EST ÉCOULÉ DEPUIS L'ANNÉE ÉGYPTIENNE DE COÏNCIDENCE LUNISOLAIRE, JUSQU'AU PREMIER RETOUR DU THOT HÉLIAQUE, DANS L'ANNÉE VAGUE DE 365 JOURS.

L'année égyptienne dans laquelle la coïncidence lunisolaire est établie, s'étend depuis le 11 novembre de l'année julienne bissextile — 1781, date chronologique, jusqu'au 11 novembre de l'année commune suivante—1780. intervalle qui comprend 365 jours. Dans chacune de ces années, le lever héliaque de Sirius à Memphis est censé s'être opéré, selon le calcul, au même jour julien fixe, le 20 juillet.

L'identité de ces deux 11 novembre julien avec les deux premiers jours du mois de thot vague, s'établit par les tables de concordance. Alors, en plaçant, dans chacune des années juliennes considérées, ce 11 novembre, ainsi que le 20 juillet précédent, à leur rang ordinal, on aura, par différence, l'intervalle du lever héliaque au thot qui le suit. Je forme ainsi le tableau de ces résultats, pour la période quadriennale qui s'étend depuis l'année bissextile —1781, date chronologique, jusqu'à l'année commune, — 1778 inclusivement.

ANNÉES JULIENNES avant l'ère chrétienne, comptées chronologiquement.	DATE du 1er jour de thot vague, dans cette même année julienne.	QUANTIÈME ordinal du 1er jour de thot dans l'année julienne.	QUANTIÈME ordinal du 20 juillet précédent.	NOMBRE de jours dont le 20 juillet précède le 1er de thot qui le suit.
— 1781 biss.	11 novemb.	Jour 316e	Jour 202e	114
— 1780 com.	11 novemb.	Jour 315e	Jour 201e	114
— 1779 com.	11 novemb.	Jour 315e	Jour 201e	114
— 1778 com.	11 novemb.	Jour 315e	Jour 201e	114

Pour tirer de ce tableau la date égyptienne du lever héliaque, dans l'année de coincidence lunisolaire, j'énumère continûment les jours qui la composent depuis le 1er de thot qui la commence, jusqu'au 1er de thot de l'année qui suit. Ce second thot se trouve ainsi être le 366e jour de la série. Alors s'établit le calcul suivant :

Quantième ordinal du 1er jour de thot, qui suit l'année égyptienne où s'opère la coïncidence luni-solaire..	jour 366e
Nombre de jours dont le lever héliaque précède ce thot........................	114
Différence, ou quantième ordinal du lever héliaque dans l'année égyptienne de coïncidence..	jour 252e

Cela met donc la date de ce lever au 12e jour de pachon vague, comme je l'ai dit dans le texte.

Si l'on suppose que le 20 juillet de l'année — 1781, à 4h du matin, à Memphis, la longitude du soleil est exactement celle qui *commence* la période quadriennale des levers héliaques, en laissant ce phénomène fixe à un même jour vague pendant cette tétraétéride, comme le fait Théon, les 114 jours dont sa date devra s'avancer, pour passer du 12e pachon au 1er thot suivant, exigeront 456 années vagues V, lesquelles, traduites en juliennes J, vaudront $456\,J - \frac{1}{4} . 456^j$ ou $456\,J - 114^j$. Si l'on ajoute cet intervalle à la date primitive, 20 juillet — 1781, en observant que la position de la bissextile n'est pas changée par cette opération, puisque le nombre 456 contient 114 tétraétérides exactes, on aura les résultats suivants :

Date du lever héliaque de Sirius à Memphis, dans l'année julienne bissextile —1781, 20 juillet, ou..............................	—1781B jour 316e
Temps qui doit s'écouler de là, jusqu'au thot héliaque suivant......	$+ 456\,J - 114^j$
Somme, ou date Julienne du nouveau thot héliaque..............	—1325B jour 202e, ou le 20 juill.

Cette date, 20 juillet, nous reporte donc à un lever héliaque ; et, en outre, elle coïncide avec le thot vague de l'année égytienne qui commence dans l'année julienne — 1325, comme on le peut voir par les tables de concordance. Le thot, ainsi rejoint par notre calcul, se trouve donc héliaque, comme nous le désirions.

Chacune des trois années communes qui suivent la bissextile —1781, conduiront à un résultat pareil, c'est-à-dire à un thot concordant avec le

20 juillet julien, conséquemment héliaque. Par exemple, prenez la deuxième année de la période supposée, c'est-à-dire —1780, le calcul se fera comme suit :

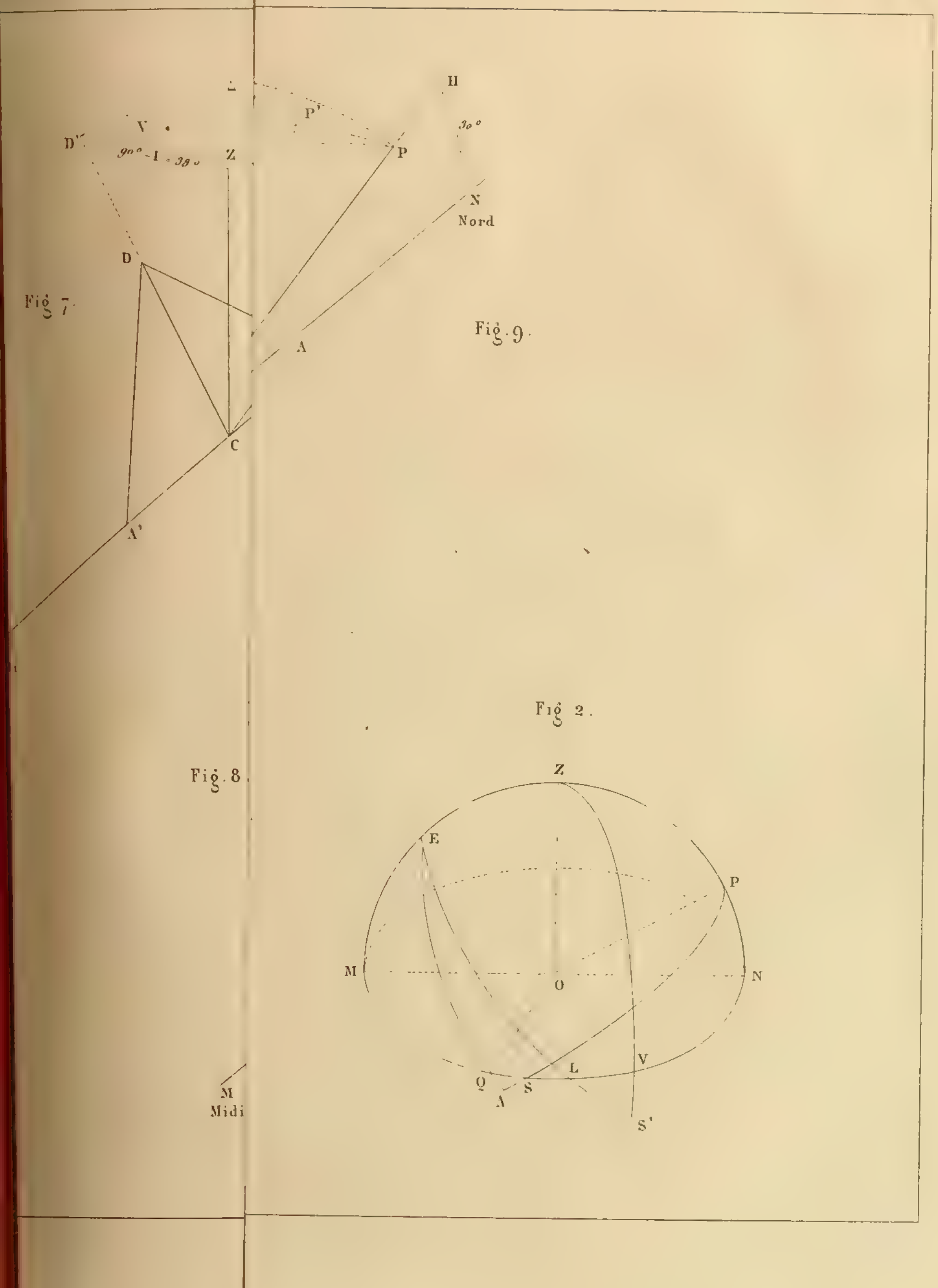
Date du lever héliaque dans l'année julienne commune —1780, 20 juillet, ou	—1780ᶜ jour 315ᵉ
Temps qui doit s'écouler de là jusqu'au thot héliaque suivant..	456 J — 114ʲ
Somme, ou date julienne du nouveau thot héliaque	—1324 jour 201ᵉ, ou le 20 juillet.

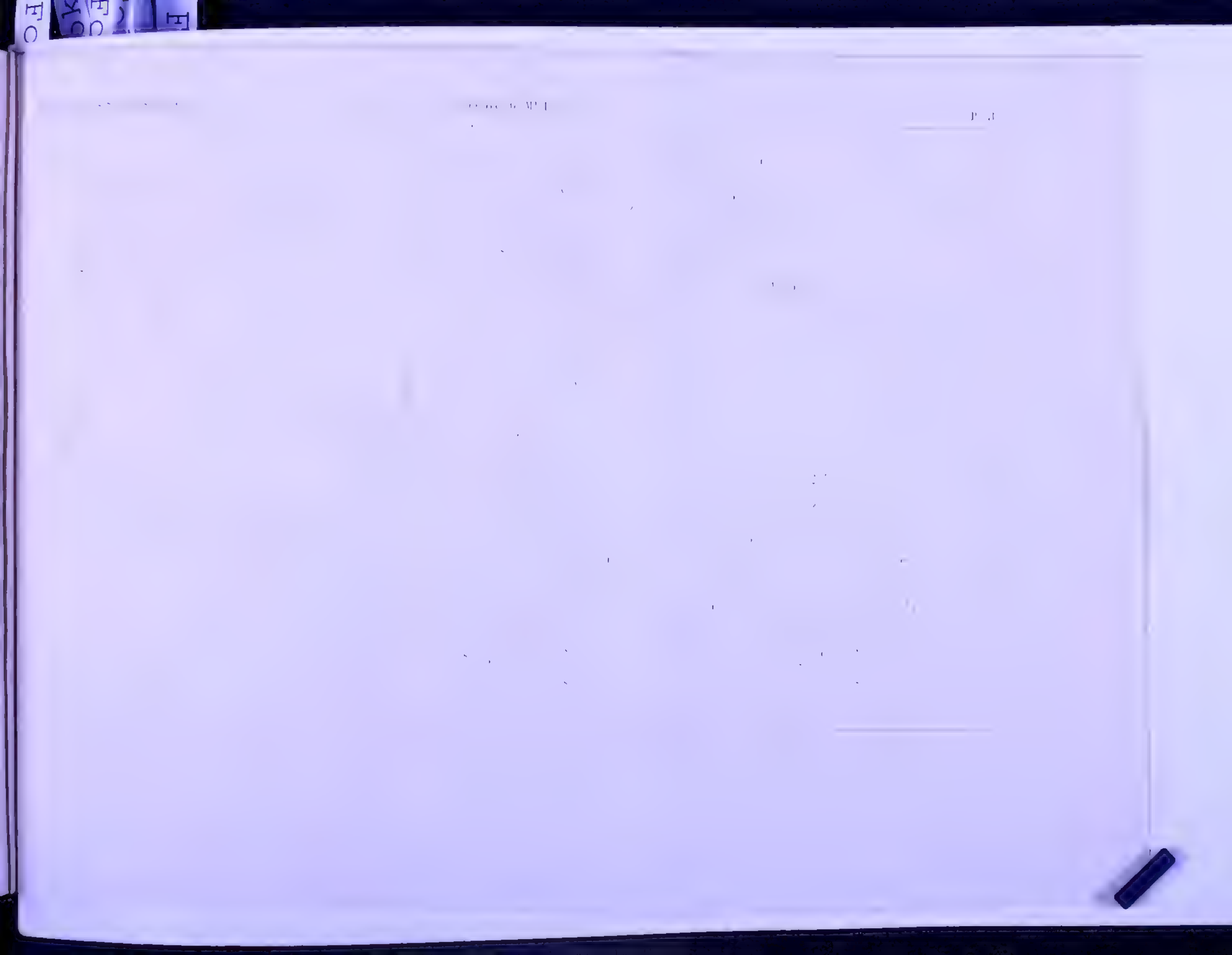
La période quadriennale primitive, dont nous faisons partir notre calcul de rétrogradation, nous conduit ainsi à la tétraétéride qui comprend les années juliennes

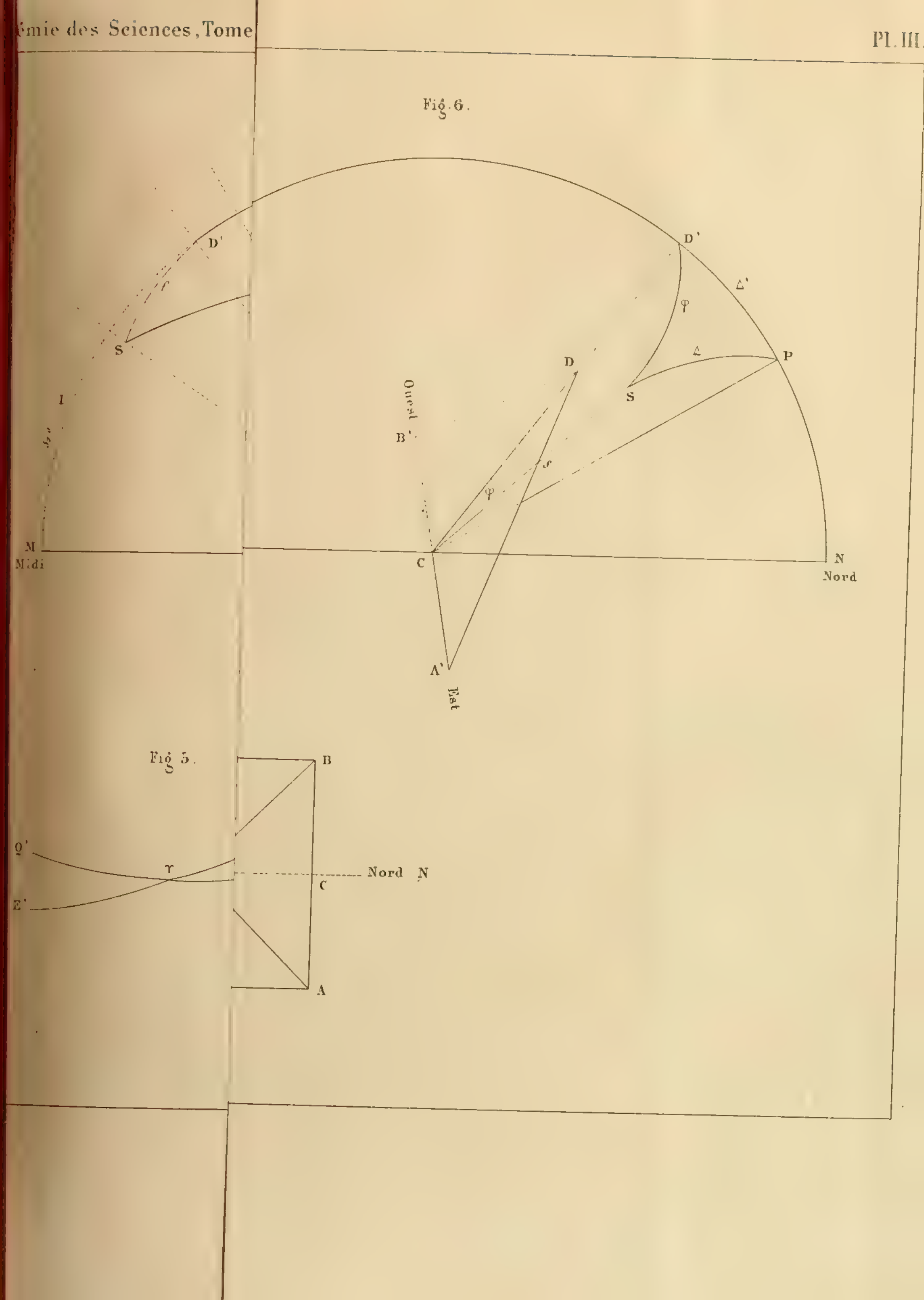
—1325ᵇ, —1324ᶜ, —1323ᶜ, —1322ᶜ,

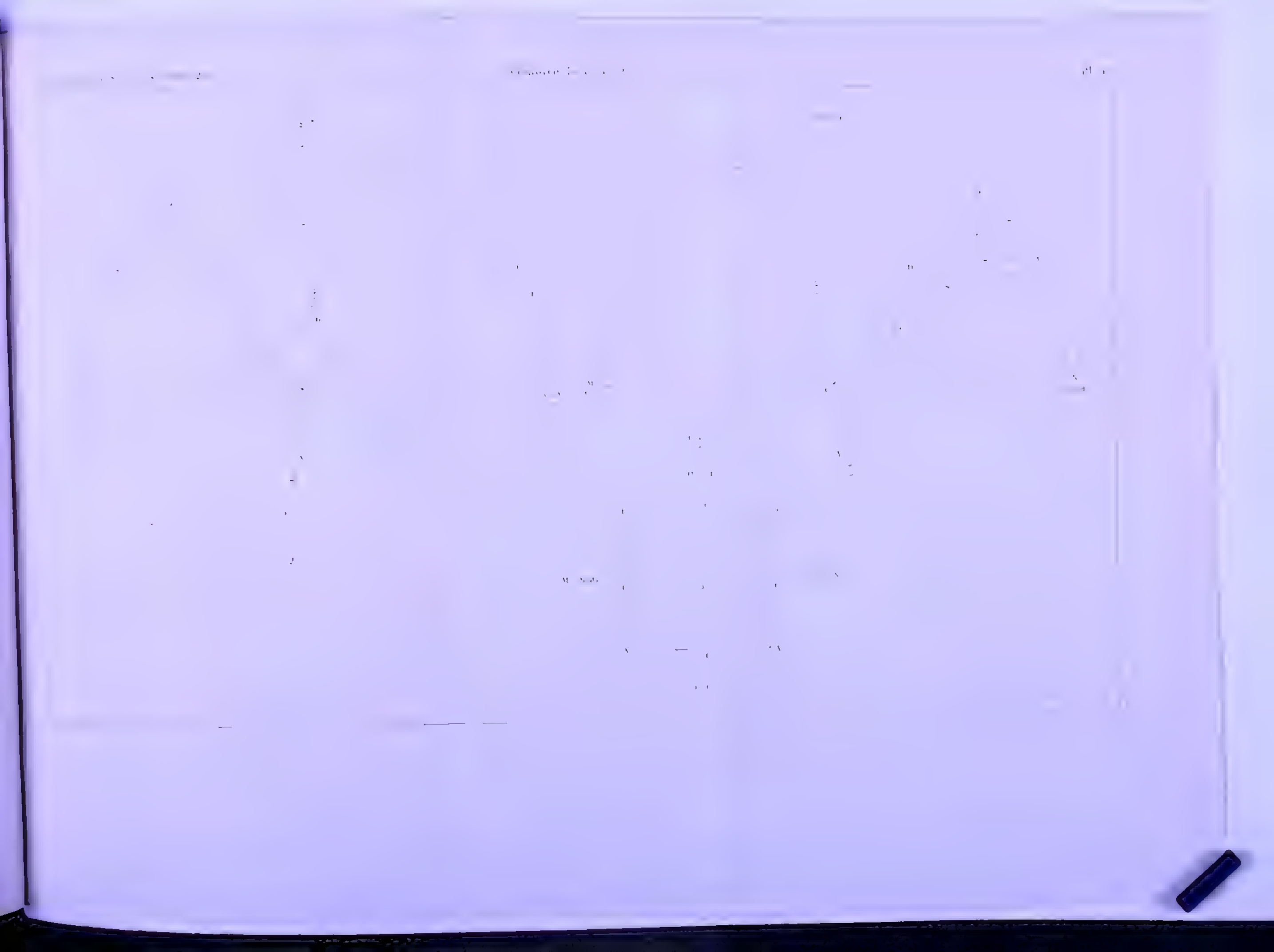
dans lesquelles le thot est, en effet, censé également héliaque, selon le calcul, sous le parallèle de Memphis, puisqu'il y concourt toujours avec le 20 juillet julien.




H
P'
V
D'
90° - I = 38°
Z
P
30°
N
Nord
D
Fig. 7.
A
Fig. 9.
C
A'
Fig. 2.
Fig. 8.
Z
E
P
M
O
N
V
L
Q
S
A
S'
M
Midi




Fig. 6.
D'
D'
Δ'
φ
Δ
P
S
S
D
I
Ouest
B'
s
φ
M
Midi
C
N
Nord
A'
Est
Fig. 5.
B
Q'
ϒ
Nord N
C
E'
A



MÉMOIRE
SUR LES COULEURS
DÉVELOPPÉES
DANS DES FLUIDES HOMOGÈNES
PAR LA LUMIÈRE POLARISÉE,

Présenté à l'Académie, le 30 mars 1818,

PAR M. AUGUSTIN FRESNEL.

(IMPRIMÉ PAR ORDRE DE L'ACADÉMIE.)

M. Biot a remarqué le premier que plusieurs fluides homogènes jouissent de la propriété de colorer la lumière polarisée, et de faire renaître l'image extraordinaire, comme les substances cristallisées. Cette belle découverte a démontré que l'action polarisante des corps pouvait s'exercer indépendamment de l'arrangement des particules, et en conquence de leur seule constitution.

L'analogie me faisait soupçonner depuis longtemps que ces phénomènes de polarisation devaient être accompagnés

de la double réfraction dans les fluides comme dans les cristaux. La coloration de la lumière s'explique d'ailleurs d'une manière si satisfaisante dans la théorie des ondulations par le concours de deux systèmes d'ondes, qu'il était très-naturel de supposer leur existence, même dans des fluides homogènes, en voyant ces fluides développer des couleurs. Néanmoins aucune hypothèse n'avait plus besoin d'être confirmée par une expérience directe.

La théorie des interférences indique plusieurs moyens très-simples de reconnaître les plus légères différences dans la marche de deux systèmes d'ondes sorties d'une source commune. On peut employer à cet effet le phénomène des anneaux colorés, par exemple, ou celui des franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux.

J'ai d'abord suivi le premier procédé. Ayant serré deux prismes l'un contre l'autre, de manière à former des anneaux colorés, j'ai fait tomber sur les surfaces en contact la lumière d'une lampe, sous l'incidence de la polarisation complète. Les rayons ainsi réfléchis traversaient un tube de $1^{m},715$ de longueur, rempli d'essence de térébenthine. Je me servais d'une lorgnette de spectacle pour bien distinguer les anneaux, à cause de l'éloignement des prismes.

Avec la lunette seule, je n'apercevais pas plus d'anneaux au travers de l'huile de térébenthine qu'avant l'interposition de ce liquide; mais en plaçant un rhomboïde de chaux carbonatée dans l'intérieur de la lunette, de manière à produire deux images séparées, je voyais dans chacune d'elles un bien plus grand nombre d'anneaux : ils s'étendaient à des épaisseurs de la lame d'air où je n'avais pas pu en découvrir au-

paravant (1). Or, on ne peut expliquer l'apparition de ces nouveaux anneaux qu'en supposant une diminution dans l'intervalle des deux systèmes d'ondes concourant à leur production; ou, ce qui revient au même, en supposant qu'une partie du système d'ondes réfléchi à la première surface de la lame d'air, a parcouru le tube un peu plus lentement qu'une partie de celui réfléchi à la seconde surface. Ainsi il faut admettre que l'essence de térébenthine, comme les cristaux, ralentit la marche de la lumière suivant deux degrés différents. Les rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air devant éprouver également la double réfraction de ce liquide, il en résulte que les nouveaux anneaux ne sont formés que par la moitié au plus de la lumière qui arrive à l'œil; en sorte qu'ils doivent être beaucoup plus faibles que les autres.

On pourrait objecter aux conséquences que je viens de tirer de cette expérience, que les circonstances qui font naître les nouveaux anneaux étant précisément celles qui développent des couleurs dans l'essence de térébenthine, il est possible que la simplification de la lumière soit la cause

(1) M. Arago avait fait depuis longtemps une expérience absolument pareille sur des plaques de cristal de roche taillées perpendiculairement à l'axe. On produit le même phénomène avec des lames de cristal de roche ou de sulfate de chaux parallèles à l'axe, d'une épaisseur peu considérable. Quand elles ont seulement un ou deux millimètres d'épaisseur, les nouveaux anneaux se trouvent parfaitement séparés de ceux qui entourent le point de contact, et mettent en évidence la double réfraction du cristal. Cette propriété des lames cristallisées pourrait être également appliquée à la mesure de leur double réfraction, de leur épaisseur, ou de la courbure des objectifs de télescope.

de l'augmentation du nombre d'anneaux apparents. Mais d'abord je répondrai que ces couleurs étaient très-faibles à cause de la grande longueur du tube, et que même, dans certaines positions du rhomboïde de spath calcaire, elles devenaient insensibles; les deux images ne paraissant plus avoir alors que la couleur propre du liquide. On verra d'ailleurs que plusieurs autres phénomènes confirment l'hypothèse d'une double réfraction dans l'essence de térébenthine.

Ayant porté le même tube dans une chambre obscure, je l'ai dirigé vers un point lumineux, devant lequel j'avais mis une pile de glaces pour polariser la lumière incidente. J'ai placé à l'autre extrémité du tube, sous l'angle de la polarisation complète, deux glaces non étamées très-légèrement inclinées entre elles, de manière à produire des franges d'une largeur suffisante. Alors, en observant avec une loupe la lumière ainsi réfléchie, j'ai reconnu l'existence de trois systèmes de franges qui se touchaient et se mêlaient un peu les uns aux autres, parce que le tube n'était pas assez long.

Le système du milieu, qui provenait de la superposition des franges produites par le concours des rayons qui avaient éprouvé la même réfraction, était beaucoup plus intense que les deux autres, résultant du concours des rayons de réfractions opposées. La lumière n'était pas assez vive pour que je pusse bien distinguer dans ceux-ci la position des bandes obscures du premier ordre; mais il m'a semblé, autant que je pouvais en juger, que la distance du centre de chacun des systèmes de droite et de gauche au centre de celui du milieu était de sept largeurs de franges. Il résulte d'une autre expérience plus précise rapportée à la fin de ce

mémoire, que les faibles couleurs produites par ce tube appartiennent au sixième ordre.

Si l'existence de la double réfraction dans l'essence de térébenthine établit une grande analogie entre le phénomène de sa coloration et celui que présentent les lames minces cristallisées parallèles à l'axe, ils diffèrent cependant essentiellement sous plusieurs rapports. Dans les lames cristallisées, la rotation du rhomboïde de spath calcaire ne fait varier que l'intensité de la teinte sans changer sa nature; dans l'essence de térébenthine, au contraire, le même mouvement du rhomboïde change la nature de la teinte sans diminuer son intensité. Enfin, l'on peut faire tourner sur lui-même le tube qui contient ce liquide, sans apporter aucun changement ni à la nature ni à la vivacité des couleurs; tandis qu'en faisant tourner la lame cristallisée dans son plan, l'on augmente ou l'on affaiblit les couleurs jusqu'à les amener au blanc parfait.

La modification singulière que la double réflexion complète, dans un azimut de 45°, imprime à la lumière polarisée, et qui lui donne les apparences d'une entière dépolarisation, lorsqu'on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, ne lui ôte point cependant, comme on le sait, la propriété de colorer les lames cristallisées. Ces teintes ont même autant de vivacité que celles produites par la lumière polarisée ordinaire, et sont seulement d'une autre nature. Or, voici encore une différence caractéristique entre l'action des lames cristallisées et celle de l'essence de térébenthine. La lumière ainsi modifiée ne se colore plus dans ce liquide, et paraît, à cette épreuve, aussi complétement dépolarisée que lorsqu'on la fait passer immédiatement au travers d'un rhomboïde de chaux carbonatée.

A l'extrémité d'un tube de $0^m,50$ de longueur, rempli d'essence de térébenthine, j'ai placé un parallélipipède de verre, dans lequel les rayons incidents, préalablement polarisés, éprouvaient deux réflexions complètes suivant un plan incliné de 45° sur celui de la polarisation primitive. En regardant alors par l'autre extrémité de ce tube avec un rhomboïde de spath calcaire, je n'apercevais plus aucune trace de coloration, lorsque les rayons avaient été réfléchis sous une incidence convenable dans le parallélipipède de verre; tandis que la lumière polarisée, qui n'avait pas éprouvé cette modification, développait dans le même tube des couleurs de la plus grande vivacité. Le cristal de roche taillé perpendiculairement à l'axe produit, dans cette circonstance, le même effet que l'essence de térébenthine.

La lumière polarisée modifiée par la double réflexion complète ne se colorant plus dans ce fluide, l'analogie indique qu'elle ne doit plus produire qu'un seul système de franges avec l'appareil que j'ai décrit plus haut, et c'est aussi ce que l'expérience confirme.

Il est naturel de conclure de ces deux expériences que la lumière ainsi modifiée n'éprouve plus qu'une seule réfraction dans l'essence de térébenthine. Pour vérifier cette conséquence et m'assurer qu'en effet la lumière en sortant du tube ne contenait plus alors qu'un seul système de franges, je lui ai fait traverser une lame mince cristallisée, et j'ai vu qu'elle développait les mêmes couleurs que lorsqu'elle n'avait pas traversé l'huile de térébenthine, ou du moins que ces teintes en différaient fort peu, et que cette légère différence tenait à la couleur propre du liquide, comme on

le reconnaît en faisant passer la lumière incidente au travers de ce fluide avant sa polarisation primitive.

Mais voici une autre expérience assez remarquable qui démontre encore mieux peut-être que, dans le cas dont il s'agit, l'huile de térébenthine rend la lumière telle qu'elle la reçoit. Lorsque des rayons polarisés ont éprouvé la double réflexion complète dans un azimut de 45° par rapport au plan primitif de polarisation, si on leur fait subir de nouveau deux réflexions complètes dans un second parallélipipède de verre, ils reprennent toutes les apparences et les propriétés de la polarisation parfaite ; c'est un phénomène qui s'explique aisément par la théorie exposée dans mon dernier mémoire. Or, le même phénomène a encore lieu en plaçant entre les deux parallélipipèdes un tube rempli d'essence de térébenthine, quelle que soit sa longueur. Ainsi les modifications imprimées aux rayons incidents ne sont point altérées dans ce cas par l'interposition du fluide.

Quand, au lieu de placer le parallélipipède de verre à l'extrémité antérieure du tube, on le met du côté de l'œil, la lumière polarisée, qui, après avoir traversé l'essence, est réfléchie deux fois dans ce parallélipipède, offre les caractères d'un faisceau lumineux qui aurait traversé une lame mince parallèle à l'axe. Car, en faisant tourner le rhomboïde de spath calcaire, on ne fait plus alors varier la nature, mais seulement l'intensité des teintes, qui passent au blanc parfait dans deux positions rectangulaires de sa section principale, lorsqu'elle est inclinée de 45° sur le plan de la double réflexion. Les teintes parviennent, au contraire, à leur plus haut degré de vivacité, lorsque la section principale du rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire à ce plan. Quant à leur nature,

elle dépend de la position du parallélipipède de verre, et est précisément celle des couleurs qu'on obtiendrait directement sans son interposition, en dirigeant la section principale du rhomboïde de spath calcaire dans le même azimut.

En modifiant ainsi, par la double réflexion complète, la lumière polarisée qui a traversé l'huile de térébenthine, on peut combiner les effets de ce liquide avec ceux d'une lame cristallisée parallèle à l'axe, comme on combine entre eux les effets produits par deux lames de cette espèce. Mais pour que l'addition ou la soustraction des teintes s'exécutent d'une manière tout à fait semblable, pour obtenir, par exemple, la disparition totale d'une des images avec une lame d'une épaisseur convenable, il faut que le plan de la double réflexion soit tourné dans un certain azimut dépendant de la longueur du tube; cet azimut, dans le cas particulier de la compensation parfaite, est celui qui donne la même teinte que la lame cristallisée. Lorsque l'axe de la lame est à gauche du plan de double réflexion, les teintes s'ajoutent; quand il est à droite, elles se retranchent. Ce serait l'inverse avec un fluide tel que l'essence de citron, dont l'action polarisante s'exerce en sens contraire de celle de l'huile de térébenthine.

Dans le dernier mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, j'ai décrit un appareil au moyen duquel on peut, avec une lame cristallisée parallèle à l'axe, imiter les phénomènes de coloration que présentent l'essence de térébenthine et les plaques de cristal de roche taillées perpendiculairement à leur axe. Il consiste en deux parallélipipèdes de verre disposés rectangulairement, entre lesquels on place la lame cristallisée, de façon que le faisceau lumineux polarisé éprouve la double réflexion complète en sortant de la lame

comme avant d'y entrer, mais suivant un plan perpendiculaire au premier, ces deux plans étant inclinés l'un et l'autre de 45° sur l'axe du cristal. Ce système de la lame cristallisée et des deux parallélipipèdes de verre ainsi combinés, jouit de la singulière propriété, qu'on peut le faire tourner sur lui-même entre les deux plans de polarisation extrêmes, comme une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, sans changer la nature ni l'intensité des couleurs; tandis qu'en faisant varier un de ces deux plans par rapport à l'autre, on obtient toutes les teintes diverses que présentent, dans le même cas, les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe et l'essence de térébenthine. Il y a plus : quand on a fait éprouver à la lumière incidente la double réflexion complète suivant un plan incliné de 45° sur celui de la polarisation primitive, elle ne se colore plus en traversant cet appareil, dans quelque azimut qu'il soit tourné ; et lorsqu'elle éprouve cette modification en sortant de l'appareil, au lieu de la recevoir avant d'y entrer, elle prend encore, comme avec l'essence de térébenthine en pareil cas, les mêmes apparences que si elle était reçue dans le rhomboïde de spath calcaire, immédiatement après sa sortie de la lame cristallisée.

Enfin, lorsque la lumière incidente, après avoir été complétement dépolarisée par deux réflexions consécutives avant d'entrer dans cet appareil, est encore à sa sortie réfléchie deux fois complétement dans un parallélipipède de verre, elle se trouve ramenée à l'état de polarisation parfaite, comme si l'on supprimait l'appareil, ou qu'on lui substituât un tube rempli d'essence de térébenthine. Il paraîtrait donc, d'après cette série de faits nombreux et variés, que cet appareil jouit de toutes les propriétés optiques de l'huile de térébenthine.

C'est aussi ce que j'avais pensé d'abord ; mais un examen plus attentif m'a fait reconnaître qu'il existait une différence notable entre ces deux espèces de phénomènes.

Ayant placé un parallélipipède de verre à l'extrémité d'un tube de $0^m,50$, rempli d'essence de térébenthine, de façon que les rayons qui l'avaient traversé éprouvassent la double réflexion complète parallèlement au plan primitif de polarisation, j'ai fait disparaître l'image extraordinaire, qui était d'un rouge violâtre, par l'interposition d'une lame de chaux sulfatée, d'une épaisseur de $0^{mm.},12$ environ, qui donnait à peu près la même teinte dans l'image extraordinaire, c'est-à-dire le rouge extrême du second ordre, ou le pourpre du troisième. Or, en calculant sur cette donnée la rotation apparente du plan de polarisation des rayons rouges dans l'essence de térébenthine, d'après la théorie de l'appareil dont je viens de parler, je trouvais un angle plus que double de celui que M. Biot avait déterminé par des mesures directes, et qu'il avait eu la bonté de me communiquer. Pour découvrir à quoi pouvait tenir une aussi grande différence, j'ai voulu observer la série des couleurs produites par l'essence de térébenthine, depuis zéro jusqu'à cinquante centimètres de longueur. Après avoir placé le tube dans une position verticale, et fixé la section principale du rhomboïde de spath calcaire dans le plan primitif de polarisation, j'ai fait écouler graduellement le liquide qu'il contenait ; et j'ai été trèsétonné de voir l'image extraordinaire passer par un blanc légèrement coloré, et enfin arriver au noir sans offrir le rouge du premier ordre.

Il est assez différent du rouge du second ordre pour qu'il soit facile de les distinguer ; et, par la seule inspection des

teintes, on peut reconnaître que celui qui répond à cinquante centimètres d'essence de térébenthine, n'est pas du premier ordre. D'ailleurs, ce qui détermine encore mieux son rang, c'est l'épaisseur de la lame cristallisée qui faisait disparaître l'image extraordinaire. On objectera peut-être que cette disparition n'ayant lieu qu'à l'aide du parallélipipède de verre, il est possible que la double réflexion altère la teinte produite par l'essence de térébenthine, et la fasse descendre dans l'ordre des anneaux. Mais d'abord, en regardant à la fois les images directes et les images réfléchies, on peut s'assurer que leur couleur est absolument la même ; en second lieu, l'expérience et la théorie démontrent que la double réflexion, sous l'incidence qui produit la dépolarisation complète, modifie tous les rayons de la même manière, et que si elle change en général l'intervalle qui sépare deux systèmes d'ondes polarisés en sens contraires, ce changement, pour chaque espèce de rayons, est proportionnel à la longueur de leurs vibrations; en sorte qu'il ne peut faire monter ni descendre la teinte, dont le rang dépend uniquement du rapport de la partie constante de l'intervalle aux longueurs des différentes ondes lumineuses. Ainsi, il reste constant que l'image extraordinaire passe du noir au rouge du second ordre, sans passer par le rouge du premier.

Cette marche des couleurs, si bizarre en apparence, et si opposée à celle qu'on observe dans les anneaux réfléchis, peut s'expliquer d'une manière fort simple, en admettant que la double réfraction dans l'essence de térébenthine n'est pas la même pour les rayons de diverses natures, et qu'elle est plus forte pour ceux dont les vibrations sont plus courtes. On sait que la double réfraction des rayons violets dans le

spath calcaire est plus prononcée que celle des rayons rouges; il est probable qu'il en est de même dans les autres cristaux; mais ces différences sont très-légères par rapport à la différence de vitesse entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire. C'est pourquoi nous avons supposé, jusqu'à présent, que l'intervalle qui sépare les deux systèmes d'ondes, était sensiblement le même pour les rayons de diverses couleurs. Mais lorsque la double réfraction devient extrêmement faible, comme dans l'essence de térébenthine, où les vitesses des rayons ordinaires et extraordinaires diffèrent à peine d'un millionième, il est très-possible que la dispersion de la double réfraction (s'il m'est permis de m'exprimer ainsi) soit une partie considérable de la double réfraction elle-même. Il résulterait, de quelques mesures approximatives rapportées dans la suite de ce mémoire, que la double réfraction des rayons violets extrêmes devrait être une fois et demie environ celle des rayons rouges extrêmes. Cette hypothèse ne me paraît point improbable ni même contraire à l'analogie, qu'on ne doit pas rigoureusement étendre jusqu'à la limite; et en l'adoptant, on peut se rendre compte de cette anomalie singulière dont je viens de parler, qui, sans cela, me paraîtrait inexplicable.

On conçoit aisément que l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes n'étant plus le même pour tous les rayons, comme dans le phénomène des anneaux colorés, ou celui que présentent les lames minces cristallisées, mais changeant avec la longueur des vibrations lumineuses, la marche des couleurs peut être toute différente, puisque cet intervalle est d'autant plus grand que les vibrations sont plus courtes, ce qui fait varier doublement le rapport entre sa longueur et celle des

ondes lumineuses. Voilà comment on arrive au rouge du second ordre, lorsque l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes rouges n'a pas encore dépassé celui qui donnerait le rouge du premier ordre, s'il était le même dans les rayons de diverses couleurs.

Cette hypothèse permet d'appliquer à la polarisation exercée par les fluides homogènes, la théorie que j'ai exposée dans le mémoire précédent, pour expliquer les couleurs produites par une lame cristallisée comprise entre deux parallélipipèdes de verre perpendiculaires entre eux. Il est naturel de penser, d'après les rapports intimes qui existent entre ces deux classes de phénomènes, qu'ils résultent des mêmes modifications générales imprimées aux rayons lumineux, et que la différence qu'ils présentent dans la marche des couleurs tient uniquement à ce que la double réfraction n'est pas la même pour les rayons divers dans les particules fluides, tandis qu'elle est sensiblement constante, au contraire, dans la lame cristallisée.

Il est évident qu'il faut chercher, dans la constitution individuelle de ces particules, la cause des phénomènes de coloration auxquels elles donnent naissance, puisqu'ils sont indépendants de leur arrangement, et qu'en même temps ils dépendent tellement de leur forme, que, selon la nature du fluide, la lumière tourne de gauche à droite, ou de droite à gauche, pour me servir de l'expression de M. Biot. Je supposerai donc qu'elles sont constituées de manière à imprimer aux rayons lumineux qui les traversent, les modifications qu'ils éprouvent dans l'appareil dont je viens de parler; c'est-à-dire que la lumière, à son entrée dans chaque particule et à sa sortie, reçoit la même modification que celle qui lui est

imprimée par la double réflexion complète, et qu'elle éprouve en outre dans son intérieur la double réfraction.

Je vais d'abord démontrer qu'il résulte de cette hypothèse que les rayons qui ont été réfractés ordinairement ou extraordinairement dans une particule ainsi constituée, éprouvent toujours la même réfraction dans les particules semblables qu'ils traversent successivement, quels que soient les azimuts de leurs axes.

Fig. 1.

Soit OO′ (fig. 1) la section principale de la première particule, RR′ et TT′, les deux plans qui répondent à ceux de double réflexion dans l'appareil, et que j'appellerai *plan d'entrée* et *plan de sortie :* ils sont, par hypothèse, perpendiculaires entre eux, et inclinés de 45° sur la section principale. Soit O_1O_1' la section principale de la seconde particule traversée par le faisceau lumineux $R_1'R_1$, et T_1T_1' les deux plans suivant lesquels il éprouve, à son entrée et à sa sortie, la modification dont on vient de parler. Elle consiste, comme on l'a vu dans le mémoire précédent, en ce que chaque fais-

ceau lumineux se divise en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement au plan, le premier se trouvant en arrière d'un quart d'ondulation par rapport au second.

Considérons la partie du rayon incident qui a été réfractée ordinairement dans la première particule et polarisée ainsi, suivant OO', et représentons-la par O. En sortant de la particule, elle se divise en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement à TT', dont les intensités, ainsi que les positions relatives, sont représentées par les expressions suivantes :

$$\sqrt{\frac{1}{2}}\,.\,O_{\frac{1}{4}}, \qquad \sqrt{\frac{1}{2}}\,O.$$

O.T. O.R.

En effet, comme je l'ai observé dans le mémoire précédent, lorsqu'un système d'ondes se décompose ainsi en deux autres, les vitesses des molécules éthérées, dans leurs oscillations, ne sont pas proportionnelles aux carrés des cosinus et sinus de l'angle OCT, mais simplement au sinus et au cosinus; en sorte que ce n'est pas la somme des vitesses qui est constante, mais la somme des carrés des vitesses. C'est une conséquence du principe de la conservation des forces vives dans les vibrations des corps élastiques.

Par l'action du plan d'entrée R_1R_1' de la seconde particule, chacun de ces faisceaux lumineux se divisera en deux autres systèmes d'ondes, ce qui en produira quatre. Si l'on représente par p l'angle OCO, que la section principale de la seconde particule fait avec celle de la première, les intensités de leurs vibrations seront :

$\sqrt{\frac{1}{2}}.\sin p.O_{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}$, $\sqrt{\frac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}$, $\sqrt{\frac{1}{2}}.\sin p.O$.

O.T.R_1. O.T.T_1. O.R.R_1. O.R.T'_1.

Par le fait de la double réfraction de cette particule, chacun de ces faisceaux se divisera ensuite en deux autres, polarisés parallèlement et perpendiculairement au plan O_1O_1'. Les intensités des systèmes d'ondes réfractés ordinairement dans la seconde particule, seront représentées par les expressions suivantes :

$+\frac{1}{2}\sin p.O_{\frac{1}{2}}$, $+\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}$, $+\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}$, $-\frac{1}{2}\sin p.O$.

O.T.R_1.O_1. O.T.T_1.O_1. O.R.R_1.O_1. O.R.T'_1.O'_1.

Ajoutant les expressions qui ont la même caractéristique, et faisant attention que $\frac{1}{2}$ à la caractéristique équivaut au signe moins, on a : — sin p. O et cos p. $O_{\frac{1}{4}}$. Or, la résultante de ces deux systèmes d'ondes, différant d'un quart d'ondulation, est $\sqrt{O^2.\sin^2 p + O^2.\cos^2 p}$ ou O. Ainsi les ondes provenant de la réfraction ordinaire de la première particule, subissent en entier la réfraction ordinaire dans la seconde, parce que, dans l'une et dans l'autre, la section principale est tournée du même côté par rapport au plan d'entrée.

On peut encore vérifier ce principe en calculant l'intensité de la lumière polarisée, suivant le plan E_1E_1' perpendiculaire à la section principale O_1O_1'. On trouve, pour les quatre faisceaux constituants :

$-\frac{1}{2}\sin p.O_{\frac{1}{2}}$, ou, $+\frac{1}{2}\sin p.O$, $+\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}$,

O.T.R_1.E'_1 O.T.T_1.E_1.

$-\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}$, $-\frac{1}{2}\sin p.O$

O.R.R_1.E'_1 O.R.T'_1.E'_1.

On voit que les expressions ayant la même caractéristique, sont égales et de signes contraires, en sorte que ces quatre systèmes d'ondes se détruisent mutuellement. Ainsi, aucun des rayons ordinaires, sortis de la première particule, ne peut éprouver la réfraction extraordinaire dans la seconde. Si l'on retourne celle-ci de manière que le plan de sortie devienne plan d'entrée, il est évident qu'il se trouvera placé du même côté relativement à la section principale, et, par conséquent, les rayons y seront encore réfractés de la même manière.

Il est à remarquer que les calculs que nous venons de faire et le résultat auquel ils nous ont conduit, sont indépendants des rapports d'intensité des doubles réfractions exercées par ces particules, et que nous avons supposé seulement qu'elles étaient constituées de la même façon, c'est-à-dire que leurs axes étaient tournés du même côté par rapport à leur plan d'entrée. Ainsi, quelles que soient d'ailleurs les inclinaisons, ou même la nature des diverses particules traversées successivement par la lumière incidente, les rayons qui auront subi primitivement la réfraction ordinaire ou extraordinaire, continueront à subir la même espèce de réfraction dans toute l'étendue du fluide. L'hypothèse que nous avons adoptée peut donc expliquer (ce qui, au premier abord, paraissait difficile à concevoir) comment il se fait que la double réfraction exercée par des particules aussi irrégulièrement arrangées, ne développe que deux systèmes d'ondes lumineuses dans le fluide.

Quand il est homogène, les effets produits par toutes les particules s'ajoutent, et l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes doit augmenter en proportion de la longueur du trajet. Quand le fluide est composé de deux espèces diffé-

rentes de particules, mais dont les axes sont tournés de la même manière, par rapport à leurs plans d'entrée, leurs effets s'ajoutent, si dans les unes et les autres c'est la même réfraction qui est la plus rapide; et ils se retranchent, au contraire, si les réfractions les plus rapides sont de natures opposées. C'est l'inverse lorsque les particules ont leurs axes tournés en sens contraires relativement à leurs plans d'entrée.

On voit aussi que le mélange d'un nombre quelconque de fluides de natures diverses, dont les particules seraient ainsi constituées, doit produire sur la lumière le même effet qu'elle éprouverait si elle traversait successivement ces différents fluides. Ainsi le problème, dans ce cas général, peut toujours être ramené au cas particulier d'un fluide homogène.

Dans le mémoire précédent, en exposant la théorie de l'appareil que je prends ici pour modèle de la constitution des particules, j'ai démontré que l'intensité et la position des différents systèmes d'ondes qu'il produit, réunis dans un plan de polarisation quelconque, sont indépendantes de l'azimut dans lequel cet appareil est dirigé, et ne dépendent que de l'inclinaison réciproque des deux plans de polarisation extrêmes. On peut donc supposer toutes les particules du fluide tournées de façon que leurs sections principales soient parallèles entre elles : alors, si l'on considère une de ces particules comprise entre deux autres, on voit que son plan d'entrée est perpendiculaire au plan de sortie de celle qui la précède, et fait disparaître ainsi la différence d'un quart d'ondulation produite par celui-ci. De même son plan de sortie est perpendiculaire au plan d'entrée de la particule suivante, qui détruit, par conséquent, la modification que celui-là avait imprimée à la lumière. On peut donc supprimer,

par la pensée tous les plans d'entrée et de sortie intermédiaires, en conservant seulement le plan d'entrée de la première particule et le plan de sortie de la dernière. Il est évident alors que la formule que j'ai calculée pour l'appareil s'applique au fluide. Si donc on représente par o et e les nombres des ondulations ordinaires et extraordinaires dans le fluide, et par i l'angle que le plan primitif de polarisation fait avec la section principale du rhomboïde de spath calcaire, qui sert à développer les couleurs, on aura, pour l'expression générale de l'intensité des vibrations lumineuses dans l'image ordinaire :

$$\text{F.}\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos(2i-2\pi(e-o))}, \qquad \text{ou}, \qquad \text{F.}\cos(i-\pi(e-o)),$$

F étant l'intensité du faisceau incident; et, pour l'image extraordinaire, F. sin $(i-\pi(e-o))$.

Ces formules ont été calculées dans le cas où l'axe de la lame cristallisée, comprise entre les deux parallélipipèdes de verre, était à droite du premier plan de double réflexion; elles s'appliquent en conséquence aux fluides dont les particules ont leur section principale à droite de leur plan d'entrée. Dans le cas inverse, les formules deviennent : F. cos $(i+\pi(e-o))$, pour l'image ordinaire, et F. sin $(i+\pi(e-o))$, pour l'image extraordinaire.

M. Biot a reconnu que l'angle dont il fallait tourner la section principale du rhomboïde de spath calcaire, pour faire disparaître la même espèce de rayons de l'image extraordinaire, était proportionnel au chemin parcouru dans le fluide. Cette loi remarquable est une conséquence immédiate des formules ci-dessus. En effet, l'espèce de rayons que l'on considère sera nulle dans l'image extraordinaire, quand on aura :

$i \mp \pi(e-o)=o$; ou $i=\pm\pi(e-o)$, les signes supérieurs répondant au cas où les particules ont leur section principale à droite de leur plan d'entrée, et les signes inférieurs au cas contraire. Or, e et o sont proportionnels au chemin parcouru dans le fluide; par conséquent, l'angle i doit aussi lui être proportionnel.

Si l'on suppose $e > o$, la première valeur de i sera positive et la seconde négative. Les angles ayant été comptés de gauche à droite dans les calculs, on doit conclure de ces valeurs de i que, dans le premier cas, la lumière tournera de gauche à droite, et, dans le second, de droite à gauche, selon l'expression de M. Biot, qui est le plus simple énoncé des apparences du phénomène. Si l'on suppose, au contraire, $e < o$, la lumière tournera de gauche à droite, lorsque la section principale des particules sera à gauche de leur plan d'entrée; et de droite à gauche lorsque ce plan sera à gauche de la section principale.

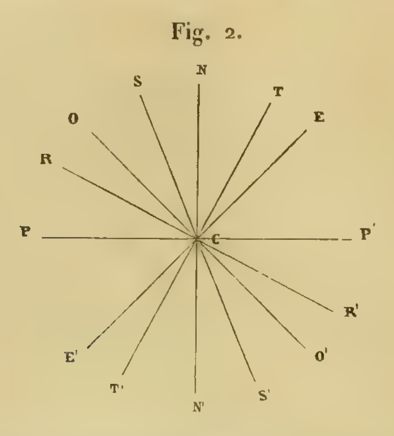
Il est clair, d'après cela, que, lorsque la lumière polarisée traverse successivement deux fluides qui font tourner la lumière en sens contraires, les effets produits par l'un sur chaque espèce de rayons se retranchent des effets produits par l'autre; en sorte que, dans une lumière homogène, on fera toujours disparaître complétement l'image extraordinaire, en raccourcissant ou rallongeant convenablement un des tubes. Mais il pourrait se faire que, dans la lumière blanche, cette compensation fût impossible, si, par exemple, les variations de la double réfraction des rayons divers ne suivaient pas la même loi dans les deux fluides, parce qu'alors les rapports de longueurs, qui produiraient la compensation

exacte pour une espèce de rayons, ne la produiraient pas pour une autre.

Pour compléter la théorie que je viens d'exposer, il me reste à expliquer deux phénomènes décrits au commencement de ce mémoire. Lorsque la lumière polarisée a reçu, dans un azimut de 45°, la modification que lui imprime la double réflexion complète avant de traverser l'huile de térébenthine, elle n'y développe plus de couleurs; et quand elle n'éprouve cette modification qu'après être sortie du tube, les teintes des deux images demeurent constantes pendant la rotation du rhomboïde de spath calcaire avec lequel on les observe, et ne varient que d'intensité seulement, en allant jusqu'au blanc parfait, comme celles des lames cristallisées parallèles à l'axe.

La raison du premier phénomène est bien simple : la lumière n'éprouve plus alors dans le liquide qu'une seule espèce de réfraction. En effet, nous avons vu que les rayons polarisés parallèlement ou perpendiculairement à la section principale d'une particule, après avoir éprouvé en en sortant la modification dont il s'agit, ne pouvaient plus subir qu'une seule espèce de réfraction dans la particule suivante. La lumière polarisée, ainsi modifiée, ne peut donc être réfractée que d'une seule manière dans l'essence de térébenthine, et ne doit produire, en conséquence, qu'un seul système d'ondes.

Fig. 2.



Je vais m'occuper maintenant du cas où la lumière ne reçoit cette modification qu'à sa sortie du tube. Soit PP′ (fig. 2) le plan primitif de polarisation. Nous avons vu que l'action des particules sur les vibrations lumineuses était toujours la même, dans quelque azimut que leurs axes fussent tournés. Nous pouvons, en conséquence, supposer toutes les sections principales inclinées de 45° sur le plan de la polarisation primitive, de façon que leurs plans d'entrée ou de sortie coïncident avec ce plan. Je supposerai, par exemple, que ce sont les plans d'entrée. Ayant ainsi tourné toutes les sections principales dans la même direction, on peut supprimer tous les plans d'entrée et de sortie, excepté le premier et le dernier. Le premier coïncide avec PP′, par hypothèse, et le dernier, représenté dans la figure par NN′, lui est perpendiculaire. Soit RR′ le plan suivant lequel la lumière est réfléchie deux fois dans le parallélipipède de verre, après avoir traversé l'essence de térébenthine; soit enfin SS′ la section principale du rhomboïde de spath calcaire avec lequel on développe les

couleurs. Je représente l'angle PCR par *r*, et l'angle PCS par *i*.

Le plan d'entrée, coïncidant avec celui de la polarisation primitive, ne modifie pas la lumière. Par la double réfraction des particules, elle se trouve divisée en deux systèmes d'ondes, polarisés, l'un suivant la section principale OO', l'autre suivant le plan perpendiculaire EE'. Si l'on représente par F la vitesse des molécules éthérées dans les vibrations du faisceau incident, leurs vitesses, dans les ondes ordinaires et extraordinaires, seront :

$$\sqrt{\frac{1}{2}}.F_o \qquad \text{et} \qquad \sqrt{\frac{1}{2}}.F_e$$

P.O. P.E'.

o et *e* représentent toujours les nombres d'ondulations ordinaires et extraordinaires, exécutées dans l'essence de térébenthine par l'espèce de rayons que l'on considère. Par l'action du plan de sortie NN', chacun de ces faisceaux se divisera en deux autres; ce qui donnera en tout les quatre faisceaux suivants :

$$\frac{1}{2}F_{o+\frac{1}{4}}, \qquad \frac{1}{2}F_o, \qquad \frac{1}{2}F_{e+\frac{1}{4}}, \qquad \frac{1}{2}F_e.$$

P.O.N. P.O.P. P.E'.N'. P.E'.P.

La double réflexion dans le parallélipipède de verre divise ensuite chacun de ces quatre faisceaux en deux autres, polarisés, l'un suivant le plan de réflexion RR', l'autre suivant le plan perpendiculaire TT'. Enfin, par l'action du rhomboïde de spath calcaire, chacun de ces huit faisceaux se trouve divisé en deux autres, polarisés parallèlement et perpendicuairement à sa section principale SS'. Il suffit de considérer ceux qui concourent à la formation d'une des images, l'image

ordinaire, par exemple. Leurs intensités sont représentées par les expressions suivantes :

P.O.N.R.S.	$+\frac{1}{2}\sin r.\cos(i-r).F_{o+\frac{1}{2}}$
P.O.N.T.S.	$+\frac{1}{2}\cos r.\sin(i-r).F_{o+\frac{1}{4}}$
P.O.P.R.S.	$+\frac{1}{2}\cos r.\cos(i-r).F_{o+\frac{1}{4}}$
P.O.P.T′.S′.	$-\frac{1}{2}\sin r.\sin(i-r).F_{o}$
P.E′.N′.R′.S′.	$-\frac{1}{2}\sin r.\cos(i-r).F_{e+\frac{1}{2}}$
P.E′.N′.T′.S′.	$-\frac{1}{2}\cos r.\sin(i-r).F_{e+\frac{1}{4}}$
P.E′.P.R.S.	$+\frac{1}{2}\cos r.\cos(i-r).F_{e+\frac{1}{4}}$
P.E′.P.T′.S′.	$-\frac{1}{2}\sin r.\sin(i-r).F_{e}$

Ajoutant les expressions qui ont la même caractéristique, et observant que $\frac{1}{2}$ à la caractéristique équivaut au signe moins, ces huit faisceaux se réduisent à quatre :

$$-\frac{1}{2}\sin r\big(\cos(i-r)+\sin(i-r)\big)F_{o}$$

$$+\frac{1}{2}\cos r\big(\cos(i-r)+\sin(i-r)\big)F_{o+\frac{1}{4}}$$

$$+\frac{1}{2}\sin r\big(\cos(i-r)-\sin(i-r)\big)F_{e}$$

$$+\frac{1}{2}\cos r\big(\cos(i-r)-\sin(i-r)\big)F_{e+\frac{1}{4}}$$

A l'inspection de ces formules, on voit d'abord que l'image passe au blanc lorsque $i-r=45^{\circ}$, parce qu'alors les deux derniers faisceaux s'évanouissant, l'intensité de la lumière devient indépendante de la différence entre c et o, et par

conséquent est la même pour toute espèce de rayons. La couleur de l'image atteint, au contraire, son plus haut degré de vivacité, lorsque $i-r$ est égal à zéro ou à 90°, c'est-à-dire, lorsque la section principale du rhomboïde de spath calcaire est parallèle ou perpendiculaire au plan de la double réflexion; en effet, les expressions dont la caractéristique est fonction de e deviennent alors égales à celles dont la caractéristique contient o.

Il est aisé de voir aussi que la rotation du rhomboïde, c'est-à-dire, les variations de i ne doivent pas altérer la nature de la teinte. En effet, considérons la résultante des deux premiers systèmes d'ondes : les variations de i n'affectant que le facteur commun $\cos(i-r)+\sin(i-r)$, ne peuvent pas changer la position de cette onde, mais seulement son intensité. Par la même raison, ces variations ne changent pas non plus la position de l'onde résultant du concours des deux autres faisceaux. Ainsi l'intervalle entre ces deux résultantes, qui seul détermine la nature de la teinte, n'éprouve aucun changement pendant la rotation du rhomboïde.

Il n'en est pas de même des variations de r; comme elles affectent inégalement les deux premiers faisceaux, dont l'un est multiplié par $\sin r$, et l'autre par $\cos r$, elles font varier la position de leur résultante. Elles changent aussi la position de l'autre résultante, et en sens contraire, à cause de l'opposition de signe entre le premier et le troisième faisceau. Mais ceci devient plus évident encore en calculant la résultante totale de ces quatre systèmes d'ondes. On trouve pour l'expression générale de l'intensité de ses vibrations

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\left(\cos^2(i-r)-\sin^2(i-r)\right)\cos(2r-2\pi(e-o))},$$

ou,

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos(2r-2\pi(e-o))}.$$

Il est clair, d'après cette formule, que les variations de i n'affectent que l'intensité de la teinte (1), tandis que celles de r changent sa nature. Quand r est égal à 45°, par exemple, $\cos(2r-2\pi(e-o))$ devient $\cos 2\pi\left(\frac{1}{4}-(e-o)\right)$, et la couleur de l'image est celle qui répond à un changement d'un quart d'ondulation dans l'intervalle $e-o$ compris entre les deux systèmes d'ondes. Quand r est égal à zéro, au contraire, la teinte répond exactement à l'intervalle $e-o$; c'est celle qu'on pourrait appeler la teinte fondamentale. La formule devient alors

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2i.\cos 2\pi(e-o)};$$

c'est précisément l'expression générale de l'intensité des rayons lumineux dans l'image ordinaire, pour le cas particulier d'une lame cristallisée dont l'axe est placé dans un azimut de 45°, par rapport au plan primitif de polarisation. Si la double réfraction exercée par l'essence de térébenthine sur les différentes espèces de rayons était sensiblement constante, comme dans les cristaux, il en résulterait qu'on

---

(1) Le maximum d'intensité de la teinte répond à $i=r$, comme on l'avait déjà reconnu par la seule inspection des faisceaux constituants. La formule devient alors

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos(2r-2\pi(e-o))},\qquad \text{ou,}\qquad F.\cos(r-\pi(e-o)).$$

Ainsi la teinte est précisément celle qu'on observait avant l'interposition du parallélipipède de verre, dans la même position du rhomboïde de spath calcaire.

pourrait toujours compenser exactement l'effet qu'elle produit sur la lumière blanche polarisée avec une lame cristallisée d'une épaisseur convenable, en tournant le parallélipipède de façon que le plan de double réflexion fût parallèle au plan primitif de polarisation. Mais nous avons vu qu'il n'en était pas ainsi, et qu'il résultait de la marche de la teinte fondamentale que la double réfraction de l'essence de térébenthine variait beaucoup, au contraire, avec la longueur des vibrations lumineuses. On conçoit même que la loi de ces variations pourrait être telle, que toute compensation exacte devînt impossible dans la lumière blanche.

Pour concevoir nettement les conditions nécessaires de cette compensation, au lieu de rapporter à une même unité de longueur les intervalles compris entre les deux systèmes d'ondes dans l'essence de térébenthine et dans la lame cristallisée, supposons-les exprimés, pour chaque espèce d'ondulation lumineuse, en fonction de la longueur de cette ondulation. Il est clair que, si les différences entre les nombres qui expriment ces rapports pour le tube rempli d'essence de térébenthine, sont égales aux différences entre les nombres correspondants de la lame cristallisée, la compensation exacte est possible; car il résulte de cette hypothèse que les nombres de la lame cristallisée sont égaux aux nombres du tube, plus un même nombre, en général fractionnaire. Or, on peut en supprimer toutes les unités entières, et ne considérer que la fraction restante, seule quantité qui s'oppose à la compensation exacte. Mais d'après la formule

$$F.\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos(2r-2\pi(e-o))},$$

on voit qu'il est toujours possible, par la valeur que l'on

donne à r, d'introduire la fraction que l'on veut dans la parenthèse $2r - 2\pi(e - o)$, et de faire disparaître cette dernière discordance. C'est donc cette dernière fraction qui détermine l'azimut dans lequel il faut tourner le plan de double réflexion pour obtenir la disparition complète d'une des images.

D'après quelques expériences de ce genre, auxquelles je n'ai pas encore pu donner toute la précision dont elles sont susceptibles, il m'a semblé que la condition que je viens d'énoncer était sensiblement satisfaite dans l'essence de térébenthine ; car j'ai observé des disparitions complètes d'une des images, du moins autant que j'en ai pu juger.

La première expérience que j'aie faite est celle dont j'ai déjà parlé au commencement de ce mémoire. Ayant rempli d'huile de térébenthine un tube de $0^{m},50$ de longueur, j'ai fixé à son extrémité postérieure un parallélipipède de verre dans lequel les rayons émergents éprouvaient la double réflexion complète suivant un plan parallèle à celui de la polarisation primitive : alors, en plaçant entre ce parallélipipède et le rhomboïde de spath calcaire une lame de sulfate de chaux de $0^{mm},12$ environ d'épaisseur, et en inclinant son axe à droite de 45° par rapport au plan de double réflexion, je faisais disparaître l'image extraordinaire qui était d'un rouge violâtre ou pourpre du troisième ordre. Une lame de sulfate de chaux de $0^{mm},12$ d'épaisseur ne répond pas tout à fait à cette teinte dans la table de Newton ; mais comme il fallait incliner un peu cette lame perpendiculairement à son axe pour obtenir la disparition complète, j'ai estimé que le tube de $0^{m},50$ devait être compensé par une lame de sulfate de chaux répondant au nombre 21 dans la première

colonne de la table de Newton. Si l'on calcule la rotation du plan de polarisation des rayons rouges moyens produite par une pareille lame comprise entre deux parallélipipèdes perpendiculaires entre eux, on trouve, par la formule $i = -\pi(e - o)$, pour l'arc total, 309°,6. Mais d'après la marche des couleurs que présente l'essence de térébenthine depuis zéro jusqu'à une longueur de 0^{m},50, on a vu qu'il devait y avoir pour ce fluide une ondulation de moins dans l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes. Or, une ondulation répond ici à 180° ; retranchant 180° de 309°,6, il reste 129°,6, qui, divisés par 50, donnent 2°,59 pour la rotation des rayons rouges dans un centimètre. En faisant le même calcul sur les autres espèces de rayons, on trouve, pour les diverses rotations qu'ils éprouvent en traversant un centimètre d'essence de térébenthine, savoir :

Rayons orangés. . . .	2°,99
Rayons jaunes	3°,36
Rayons verts	3°,90
Rayons bleus	4°,48
Rayons indigos. . . .	4°,96
Rayons violets	5°,49

Ayant fixé une lame de sulfate de chaux de 0^{mm},46 d'épaisseur sur un parallélipipède de verre, je l'ai placée à l'extrémité d'un appareil rempli d'essence de térébenthine, dont je pouvais faire varier la longueur. Par un double tâtonnement, j'ai cherché quelle était celle qui produisait la compensation la plus exacte, et dans quel azimut il fallait placer le plan de double réflexion du parallélipipède pour faire disparaître complétement une des images. J'ai trouvé pour cette longueur 2^{m},03; et, pour l'azimut, 35° environ à gauche du plan

de polarisation; c'était l'image ordinaire qui disparaissait. Il en résulte que, pour avoir la rotation produite par ce tube, il faut d'abord retrancher 90° — 35°, ou 55°, de la rotation qui serait produite par la lame de $0^{mm},46$, et qui est de 1145°,8 pour les rayons rouges moyens. Il faut, en outre, en soustraire un nombre entier de demi-circonférences, dépendant aussi de la différence de marche des teintes produites par la lame et par l'essence de térébenthine. Mon appareil ne me permettant pas de les suivre depuis $0^{m},50$ jusqu'à $2^{m},03$, j'ai calculé ce nombre d'après l'expérience précédente, certain de ne pas me tromper d'une demi-circonférence; et j'ai vu ainsi qu'il fallait retrancher trois demi-circonférences ou 540°. La rotation des rayons rouges produite par un trajet de $2^{m},03$ dans l'essence de térébenthine est donc de 550°,8 ; divisant cette quantité par 203, on a pour la rotation des rayons rouges dans un centimètre, 2°,71 (1). Ce résultat s'accorde fort bien avec celui que M. Biot a obtenu par la mesure même des angles, si du moins ce sont des rayons rouges *moyens* qui dominaient dans la lumière dont il s'est servi.

En faisant le même calcul relativement aux autres rayons, on trouve les angles suivants :

Rayons orangés. . .	3°,07
Rayons jaunes . . .	3°,42
Rayons verts . . .	3°,91
Rayons bleus . . .	4°,44
Rayons indigos . . .	4°,87
Rayons violets . . .	5°,35

(1) En partant de ces données, on trouve que les rayons rouges ordi-

Ces résultats diffèrent sensiblement de ceux déduits de l'expérience précédente; et les bases du calcul sont en effet assez différentes; car si, par une proportion, en partant des données de la seconde observation, on cherche quelle longueur d'essence de térébenthine doit être exactement compensée par une lame de sulfate de chaux répondant au nombre 21 de la première colonne de la table de Newton, on trouve $0^m,548$ au lieu de $0^m,50$.

Malgré les difficultés qui résultaient de la plus grande longueur de l'appareil dans la seconde expérience, et qui pouvaient être des causes d'erreur, je suis porté à croire que les résultats qui en découlent sont plus exacts que les premiers, non-seulement parce que les mesures et les observations ont été faites sur des quantités plus grandes, mais encore parce que j'avais réfléchi davantage aux précautions à prendre pour approcher de l'exactitude. Néanmoins je ne regarde pas non plus ces derniers résultats comme fort exacts, parce que l'appareil n'était pas disposé d'une manière assez commode pour faire avec précision des observations aussi délicates (1). Avant d'avoir l'honneur de les

---

naires et extraordinaires ne diffèrent dans leur vitesse que de $\frac{1}{1.573.000}$, et les rayons violets ordinaires et extraordinaires de $\frac{1}{1.170.000}$; en sorte que la double réfraction des rayons rouges est à la double réfraction des rayons violets comme 1 est à 1,34.

(1) Il m'a semblé que les teintes produites par les $2^m,03$ d'essence de térébenthine étaient un peu moins faibles que celles de la lame de $0^m,46$. En traversant $2^m,60$ de cette huile essentielle, la lumière polarisée présentait encore une coloration appréciable; ce qui paraîtrait établir une petite différence entre les phénomènes et l'hypothèse d'une compensation parfaite par l'interposition d'une lame de sulfate de chaux.

présenter à l'Académie, j'aurais désiré répéter l'expérience avec un appareil mieux disposé, et vérifier ces angles par des mesures directes de la rotation dans la lumière homogène; mais d'autres recherches m'obligent d'abandonner celles-ci, du moins pour quelque temps.

J'ai fait voir comment on pouvait distinguer les différents phénomènes que présente l'essence de térébenthine, en supposant que chacune de ses particules jouit de la double réfraction, et fait éprouver aux rayons lumineux, à leur entrée et à leur sortie, la même modification que leur imprime la double réflexion complète dans l'intérieur des corps transparents. La définition de ces modifications dans l'état actuel de la théorie est assez compliquée. Il est possible cependant qu'au fond l'hypothèse soit plus simple qu'elle ne le paraît. Il est certain du moins que les phénomènes ne peuvent pas être présentés plus simplement que par la formule générale F. cos $(i \mp \pi (e - o))$, à laquelle cette hypothèse m'a conduit. Il me paraît très-probable, en conséquence, que cette formule est effectivement l'expression de la résultante de tous les mouvements divers des ondes lumineuses dans l'essence de térébenthine. Mais il est possible que ces mouvements élémentaires ne s'exécutent pas précisément comme je l'ai supposé. Quoi qu'il en soit, la théorie que je viens d'exposer a l'avantage de rattacher la coloration des fluides homogènes dans la lumière polarisée aux mêmes principes que celle des lames cristallisées; elle indique les points de contact de ces phénomènes, dont les apparences sont si différentes; et sous ce rapport elle peut être, ce me semble, de quelque utilité pour la science.

MÉMOIRE

SUR

LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE,

Présenté à l'Académie, le 15 novembre 1819,

PAR M. AUGUSTIN FRESNEL.

(IMPRIMÉ PAR ORDRE DE L'ACADÉMIE.)

La théorie des ondulations donne une idée nette et précise de ce qui constitue le poli spéculaire, comme je l'ai observé dans le premier mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie. Il résulte, du principe des interférences, que la surface d'un miroir doit réfléchir régulièrement la lumière sous toutes les incidences, lorsque ses aspérités sont très-petites relativement à la longueur d'une ondulation lumineuse. Mais, comme les ondes lumineuses qui produisent la sensation des diverses couleurs ont des longueurs différentes, il suit de cette définition du poli qu'elles ne doivent pas exiger toutes le même degré de petitesse dans les aspérités de la surface pour être régulièrement réfléchies; et que, relativement aux ondes rouges, par exemple, qui sont les plus lon-

gues, une surface peut être encore un peu polie, lorsqu'elle ne l'est plus du tout pour les ondes violettes.

Il serait sans doute bien difficile, dans le travail d'un miroir, d'arrêter le poli à ce degré intermédiaire où il permettrait, sous l'incidence perpendiculaire, une réflexion régulière assez sensible des rayons rouges, en dispersant entièrement les rayons de l'autre extrémité du spectre. Mais il est un moyen bien simple de vérifier cette conséquence remarquable de la théorie avec un miroir seulement douci; c'est de l'incliner graduellement sur les rayons incidents. On sait que, sous des incidences très-obliques, des surfaces qui ne sont pas polies, mais seulement dressées, peuvent présenter des images régulières et brillantes des objets. La raison en est que l'obliquité diminue les différences de chemins parcourus par les rayons réfléchis sur les petites éminences ou les parties rentrantes des aspérités de la surface; et l'on conçoit aisément que, sous certaines inclinaisons, ces différences de chemins parcourus peuvent être déjà assez petites par rapport à la longueur d'une ondulation rouge, pour permettre un commencement de réflexion régulière des rayons rouges, tandis qu'elles sont encore trop grandes, par rapport aux rayons violets, pour qu'ils se réfléchissent régulièrement en quantité sensible. On obtient de cette manière, en faisant varier l'obliquité des rayons incidents, les mêmes effets qu'on obtiendrait sous l'incidence perpendiculaire en changeant progressivement le degré de poli de la surface; et l'on voit sous une certaine inclinaison l'image régulièrement réfléchie d'un objet blanc prendre une teinte fauve rougeâtre assez prononcée, ainsi que M. Arago et d'autres physiciens peut-être l'avaient déjà remarqué.

J'ai analysé le phénomène dans la chambre obscure en faisant tomber le spectre solaire sur des miroirs de verre et d'acier simplement doucis; et j'ai vu disparaître successivement le violet, l'indigo, le bleu et une partie du vert, en diminuant l'obliquité des miroirs; tandis que le rouge extrême, beaucoup plus obscur que le bleu et cette portion du vert dans les rayons incidents, continuait cependant à donner une image aussi distincte que celle qui résultait de la réflexion des rayons jaunes et orangés. Je n'ai pas pu parvenir à faire disparaître entièrement le vert situé près du jaune sans anéantir en même temps tout le reste de l'image du spectre solaire. Mais on en sera peu surpris si l'on réfléchit que les ondulations vertes ne diffèrent des ondulations rouges que d'un sixième de celles-ci environ ; en sorte qu'une différence de chemins parcourus égale à une demi-ondulation verte, est bien près de produire aussi la discordance complète entre les rayons rouges.

On voit ainsi l'expérience confirmer le principe d'Huygens et celui des interférences dans toutes les conséquences que l'on en peut déduire, sans faire entrer en considération les lois d'équilibre et l'arrangement des molécules des corps sur lesquels on n'a encore aucunes notions positives. Ces seuls principes nous indiquent les lois de la diffraction, où les corps qui l'occasionnent ne jouent d'autre rôle que d'intercepter ou retarder une portion des ondes lumineuses. Ils suffisent aussi à l'explication des lois de la réfraction et de la réflexion , soit que la surface réfléchissante ait reçu un poli parfait ou grossier, soit qu'elle ait une étendue indéfinie ou très-limitée, du moins quant à ce qui concerne la marche des rayons ; car le rapport d'intensité entre le rayon incident

et le rayon réfléchi sous différentes obliquités n'a pas encore été déterminé par la théorie des ondulations. Il est clair que ce rapport doit dépendre du pouvoir réfringent du milieu à la surface duquel la réflexion s'opère ; mais on ignore encore la forme de la fonction qui exprime cette relation. Pour résoudre ce problème difficile, il faudrait connaître d'abord toutes les causes de la réfraction, ou, ce qui revient au même, du raccourcissement des ondes lumineuses dans le milieu réfringent. Tout ce qu'on sait, c'est que chaque espèce d'ondes doit avoir évidemment la même longueur dans le même milieu, quelle que soit la direction suivant laquelle elles le traversent, si ce milieu est homogène et n'affecte pas, comme les substances cristallisées, un arrangement régulier dans ses particules. Cette constance de la longueur d'ondulation dans le même milieu suffit pour expliquer la seule loi connue de la réfraction, le rapport constant du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

Mais quelle est la cause du raccourcissement des ondes lumineuses dans les corps denses? Est-ce seulement une plus grande densité de l'éther qu'ils contiennent, celle de leurs propres particules, ou ces deux causes à la fois?

Je n'ai pas été longtemps à douter de la justesse de la première hypothèse, que j'avais adoptée d'abord, parce qu'elle est plus facile à suivre dans ses conséquences. En songeant combien la force répulsive des molécules éthérées est considérable relativement à leur masse, j'ai pensé qu'il était peu probable que l'attraction des corps pondérables pût augmenter d'une manière sensible la densité de ce fluide ; car il faut bien supposer que les particules de ces corps possèdent aussi un pouvoir répulsif, qui, d'après l'analogie, doit s'exer-

cer plus énergiquement sur les molécules de l'éther, éminemment répulsives, que sur les molécules pondérables, où cette répulsion est contre-balancée par une attraction puissante. D'ailleurs, en admettant même cette plus grande densité de l'éther dans les milieux réfringents, elle ne suffirait pas pour expliquer la dispersion du spectre solaire et la double réfraction, où la nature et l'arrangement des molécules pondérables ont une influence qu'on ne peut méconnaître.

Mais, dira-t-on, n'est-il pas possible qu'elles jouent un rôle essentiel dans ces phénomènes secondaires, tandis que la plus grande densité de l'éther serait la cause principale de la réfraction, et par conséquent de la réflexion? C'est précisément la question que je m'étais faite depuis longtemps, et que je crois avoir résolue d'une manière négative par les expériences que je viens de terminer.

Ces deux manières différentes d'envisager la réflexion conduisent à des conséquences semblables dans plusieurs cas, par exemple relativement aux anneaux colorés.

On sait qu'une lame mince comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfringent supérieur, telle qu'une lame d'air ou d'eau comprise entre deux verres, présente une tache noire au point de contact de ces deux milieux, c'est-à-dire, dans l'endroit où son épaisseur est nulle. Les anneaux réfléchis résultant de l'interférence des deux systèmes d'ondes réfléchies à la première et à la seconde surface de la lame mince, il semblerait, au premier aperçu, qu'ils doivent se trouver d'accord au point de contact, puisque la différence des chemins parcourus y est nulle, et qu'en conséquence le centre des anneaux devrait être occupé par une tache blanche au lieu d'une tache noire. Mais un examen plus attentif de la ques-

tion fait voir que ce doit être au contraire un point de discordance complète, quelle que soit celle qu'on adopte des deux hypothèses sur la manière dont s'opère la réflexion.

En effet, si l'on admet que la réflexion résulte d'une plus grande densité du fluide contenu dans le milieu plus réfringent, les rayons devront être considérés comme réfléchis à la surface même qui sépare les deux milieux contigus, et par conséquent la différence des chemins parcourus par ceux réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame mince sera exactement nulle là où son épaisseur est nulle. Mais il résulte de la même manière d'envisager la réflexion, que l'expression de la vitesse d'oscillation des molécules éthérées, dans les ondes réfléchies à la surface de séparation de deux milieux, diffère de signe selon que le second milieu est plus réfringent ou moins réfringent que le premier. C'est ce que M. Young avait découvert par des considérations mécaniques très-simples, et que M. Poisson a démontré depuis, d'une manière plus rigoureuse, par une analyse savante dans un beau mémoire sur le mouvement des fluides élastiques.

Ainsi, en considérant, pour fixer les idées, le cas ordinaire d'une lame d'air comprise entre deux verres, on voit donc, qu'abstraction faite des chemins parcourus, les rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air doivent différer de signe dans leur vitesse oscillatoire, puisque les premiers sont réfléchis dans un milieu plus dense à la surface d'un milieu plus rare, et les autres dans un milieu plus rare à la surface d'un milieu plus dense. Or, l'opposition de signe indique des mouvements oscillatoires opposés ; elle explique donc cette différence d'une demi-ondulation indépendante

des chemins parcourus que présente l'expérience, et qui ainsi loin d'être une objection contre la théorie, en est précisément une confirmation.

Cette même théorie a encore l'avantage d'annoncer d'avance le cas où la tache centrale doit devenir blanche; c'est celui où le milieu compris entre deux autres, de pouvoirs réfringents inégaux, a un pouvoir réfringent intermédiaire. Quand il est plus considérable que celui des deux milieux extrêmes, le point de contact redevient noir, comme lorsqu'il est plus faible : cela est évident d'après le principe que nous venons d'énoncer.

M. Young a vérifié par l'expérience ces conséquences qu'il avait déduites de la théorie, en introduisant de l'huile de sassafras entre deux prismes légèrement convexes et pressés jusqu'au contact. Lorsque ces deux prismes sont de verre ordinaire, qui est moins réfringent que l'huile de sassafras, la tache centrale est noire; et lorsqu'un des prismes étant de verre ordinaire, l'autre est de flint-glass, milieu plus réfringent que l'huile de sassafras, cette tache est toujours blanche, soit que le prisme de flint-glass soit par-dessus ou par-dessous. J'ignore comment le système de l'émission pourrait rendre raison de ces phénomènes remarquables, dont l'explication est si satisfaisante dans la théorie des ondulations.

Nous venons de voir qu'ils s'accordent avec notre première hypothèse, d'après laquelle la réflexion résulterait uniquement d'une plus grande densité de l'éther des milieux réfringents. Ils se concilient aussi bien avec celle qui attribue la réflexion totale à la réunion des réflexions élémentaires sur les particules mêmes des corps.

On conçoit aisément, dans cette seconde hypothèse, pourquoi la réflexion sur les molécules propres des corps ne peut avoir lieu d'une manière sensible que dans le voisinage de leur surface, lorsque les intervalles qui séparent ces molécules sont très-petits relativement à la longueur d'une onde lumineuse. Car si l'on divise par la pensée l'intérieur du corps en couches très-minces, d'une épaisseur telle que les rayons réfléchis par les particules d'une couche quelconque se trouvent en discordance complète avec ceux que réfléchissent les deux couches entre lesquelles elle est comprise, on voit que les réflexions élémentaires que les particules de chaque couche tendent à produire, sont détruites par la moitié des rayons de la couche antérieure et de la couche suivante, excepté à la surface du milieu, où la couche extrême ne perd ainsi que la moitié de l'intensité des rayons réfléchis. Il est évident que le point de départ de la résultante de toutes les ondes élémentaires réfléchies par ses particules doit être au milieu, lorsqu'elle a assez de transparence pour que les rayons qui la pénètrent à différentes profondeurs conservent sensiblement la même intensité. Or, d'après l'épaisseur que nous avons supposée à chaque couche, les rayons réfléchis au milieu doivent différer d'un quart d'ondulation des rayons partis de ses limites. Ainsi, la résultante des ondes élémentaires réfléchies par la couche extrême, parcourt un quart d'ondulation de plus que les rayons réfléchis à la surface même du corps.

Nous avons supposé implicitement que le corps réfléchissant était dans le vide. Mais quand il est en contact avec un autre corps, les rayons réfléchis sur ses molécules dans le voisinage de sa surface, déjà réduits à moitié de leur inten-

sité par la couche inférieure, sont encore affaiblis par la couche supérieure appartenant au corps en contact, et sont même entièrement détruits si le second milieu réfléchit autant ou plus de lumière que le premier. Dans le premier cas, il n'y a plus de lumière réfléchie ; dans l'autre, ce sont les molécules du second milieu qui réfléchissent la seule lumière sensible ; et c'est, en conséquence, du centre de la couche supérieure que doit être compté le chemin parcouru par la résultante des ondes élémentaires, qui diffère ainsi d'un quart d'ondulation en moins de celui parcouru par les rayons réfléchis à la surface même.

Cela posé, lorsque la lame mince est comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfléchissant supérieur, c'est hors de cette lame que s'opèrent les deux réflexions; de telle manière que le chemin parcouru par la résultante de la réflexion supérieure est moindre d'un quart d'ondulation que celui parcouru par les rayons élémentaires réfléchis à la surface supérieure, et que le chemin parcouru par la résultante de la réflexion inférieure est plus grand d'un quart d'ondulation que celui parcouru par les rayons élémentaires réfléchis à la seconde surface. Par conséquent, l'intervalle compris entre les deux ondes résultantes doit être plus grand d'une demi-ondulation que si elles étaient parties des surfaces mêmes de la lame mince ; ainsi, au point de contact des deux milieux extrêmes, où l'épaisseur de la lame intermédiaire est nulle, ces deux ondes résultantes doivent se trouver en discordance complète, et en conséquence produire une tache noire.

Lorsque le pouvoir réfléchissant de la lame mince est intermédiaire entre ceux des deux milieux extrêmes, l'une des deux réflexions a lieu en dedans de cette lame, tandis que

l'autre s'opère en dehors. Il s'ensuit que la différence d'un quart d'ondulation, entre les deux résultantes, et les rayons réfléchis aux surfaces mêmes de la lame mince, se trouve alors dans le même sens pour les deux surfaces; et qu'ainsi, l'aspect du phénomène doit être le même que si ces résultantes partaient des surfaces de la lame mince; elles doivent donc être parfaitement d'accord au point où son épaisseur est nulle, et y former une tache blanche.

Enfin, lorsque la lame mince a un pouvoir réfléchissant plus grand que les deux milieux qu'elle sépare, les deux réflexions s'opèrent l'une et l'autre en dedans de la lame, et les différences d'un quart d'ondulation dont nous venons de parler, ayant lieu en sens contraires, s'ajoutent et changent ainsi d'une demi-ondulation l'intervalle qui sépare les deux systèmes d'ondes; d'où résulte une tache noire au point de contact, conformément à l'expérience.

Les deux hypothèses sur la réflexion s'accordent ainsi dans les conséquences que nous venons d'en déduire relativement aux anneaux réfléchis. Appliquons-les maintenant aux anneaux transmis.

Les anneaux transmis résultent nécessairement de l'existence des anneaux réfléchis, et doivent en être complémentaires dans les milieux parfaitement diaphanes, par la seule raison du principe de la conservation des forces vives. Car la lumière incidente, étant supposée d'une intensité uniforme, la somme des intensités des lumières réfléchie et transmise à chaque point de la lame mince, doit être constante. Ainsi, les anneaux noirs, dans la lumière transmise, doivent répondre aux anneaux brillants de la lumière réfléchie. Par conséquent, dans le cas d'une lame d'air comprise entre deux

verres, par exemple, le point où ils se touchent qui paraît noir, vu par réflexion, doit paraître brillant par transmission.

M. Arago s'est assuré, par une expérience ingénieuse, que les anneaux transmis, quoique beaucoup plus faibles en apparence que les anneaux réfléchis, à cause de la grande quantité de lumière blanche dans laquelle ils sont en quelque sorte noyés, les neutralisent cependant complétement, lorsqu'on les projette dessus, et qu'en conséquence ils en sont réellement complémentaires. Cette observation paraissait une objection contre l'hypothèse de M. Young, qui attribuait la formation des anneaux transmis à l'interférence des rayons directs avec ceux qui ne sortent de la lame d'air qu'après y avoir été réfléchis deux fois. Mais il a démontré, par un calcul fort simple, que son hypothèse s'accordait très-bien au contraire avec l'observation de M. Arago. Ainsi, puisque ces deux systèmes d'ondes doivent produire des anneaux d'une intensité précisément égale à celle que présente l'expérience, il faut que l'hypothèse qu'on adoptera sur la réflexion, quelle qu'elle soit, puisse se concilier avec cette manière d'envisager la génération des anneaux transmis.

L'hypothèse suivant laquelle on considère la réflexion comme s'opérant à la surface même de séparation des deux milieux en contact, en raison de la seule différence de leurs densités, s'accorde parfaitement avec cette génération des anneaux transmis. En effet, supposons, par exemple, que la lame mince soit comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfringent supérieur; on sait qu'en pareil cas le centre des anneaux réfléchis est noir, et celui des anneaux transmis est

blanc : or, c'est précisément ce qui résulte de l'hypothèse adoptée. Car, d'après cette manière de concevoir la réflexion, la vitesse d'oscillation est de même signe pour les rayons réfléchis en dedans de la lame mince, que pour les rayons transmis, en la rapportant à la direction de leur marche; ainsi les rayons réfléchis, ramenés à la direction des rayons transmis par une seconde réflexion, n'en diffèrent donc qu'en raison de la différence des chemins parcourus, qui est égale au double de l'épaisseur de la lame mince sous l'incidence perpendiculaire. Au point de contact des deux milieux extrêmes, où cette épaisseur est nulle, les rayons, deux fois réfléchis, sont donc en accord parfait avec les rayons transmis directement, et, par conséquent, la tache centrale doit être blanche.

Lorsque les deux milieux extrêmes sont au contraire d'un pouvoir réfringent plus faible que celui de la lame mince qu'ils comprennent, la vitesse d'oscillation des ondes lumineuses, considérée dans le sens de leur marche, change de signe, il est vrai, à chaque réflexion; mais après deux réflexions, elle reprend le même signe que dans les rayons transmis immédiatement; leur accord doit donc être encore parfait, là où la différence des chemins parcourus est nulle, c'est-à-dire, au point de contact.

Enfin, quand la lame mince est d'un pouvoir réfringent supérieur à l'un des deux milieux extrêmes et inférieur à l'autre, les rayons deux fois réfléchis, ne changeant de signe qu'une fois dans leurs mouvements vibratoires, diffèrent d'une demi-ondulation des rayons directement transmis, indépendamment des chemins parcourus; en sorte que la tache

centrale doit paraître noire, vue par transmission, conformément à l'expérience.

Cette manière d'envisager la génération des anneaux transmis, ne se concilie pas aussi facilement avec l'hypothèse où l'on considère la réflexion comme produite par les particules mêmes des corps; du moins, il devient nécessaire alors de supposer que les ondes élémentaires, ainsi réfléchies, changent d'un quart d'ondulation par l'acte même de la réflexion.

Il me semble qu'on peut s'en rendre compte jusqu'à un certain point, en faisant attention que les particules du corps, ébranlées par les ondulations lumineuses, doivent sans doute partager à la fois les mouvements des rayons incidents et des rayons réfléchis, et que ce sont probablement leurs vibrations dans la direction de ceux-ci, qui constituent principalement la réflexion. Or, pour que ces deux sortes de vibrations s'exécutent à la fois dans les mêmes particules de la manière la plus indépendante, il faut que les unes ne commencent leurs oscillations qu'un quart d'ondulation après les autres. Je ne présente, néanmoins, qu'avec beaucoup de défiance ces idées sur une question aussi délicate; et je ne regarde point l'explication que je viens de hasarder comme une démonstration rigoureuse de la différence d'un quart d'ondulation entre les rayons transmis et les rayons réfléchis, mais seulement comme une manière de la concevoir. D'ailleurs, ce retard d'un quart d'ondulation dans la marche des rayons réfléchis résulte nécessairement du principe de la conservation des forces vives appliqué à l'hypothèse que nous considérons, puisque, sans ce changement opéré par la réflexion, les anneaux transmis seraient absolument semblables aux anneaux

réfléchis, au lieu d'en être complémentaires. Cette différence d'un quart d'ondulation est donc une conséquence nécessaire de notre seconde hypothèse sur la réflexion.

Cela posé, nous avons vu que la résultante de toutes les ondes élémentaires réfléchies dans le voisinage de la surface se trouvait en arrière d'un quart d'ondulation par rapport aux rayons partis de la surface même; et, puisque, par le seul acte de la réflexion, les ondes réfléchies doivent se trouver retardées d'un quart d'ondulation, il en résulte une différence totale d'une demi-ondulation entre les rayons incidents et les rayons réfléchis, indépendamment de la différence des chemins parcourus comptés à partir de la surface pour les rayons réfléchis. Nous supposons ici que le corps réfléchissant est dans le vide : s'il était en contact avec un autre milieu d'un moindre pouvoir réfléchissant, ce serait encore la même chose; mais si le milieu supérieur était au contraire plus réfringent, la résultante des ondes élémentaires se trouvant alors en avance d'un quart d'ondulation par rapport aux rayons réfléchis à la surface même, le retard d'un quart d'ondulation qu'elle éprouve dans l'acte de la réflexion serait ainsi compensé. On tire des conséquences absolument opposées de la première hypothèse, suivant laquelle la réflexion, résultant uniquement de la différence de densité de l'éther dans les deux milieux, s'opérerait à la surface même de séparation. Ainsi, ces deux hypothèses, qui s'accordent sur les anneaux réfléchis, et par conséquent sur les anneaux transmis, puisque ceux-ci sont nécessairement complémentaires des premiers, d'après le principe de la conservation des forces vives, ces deux hypothèses, dis-je, en nous conduisant à des conséquences contradictoires sur les différences de vibration

entre les rayons réfléchis et les rayons transmis, nous offrent le moyen de décider par l'expérience laquelle des deux il faut rejeter.

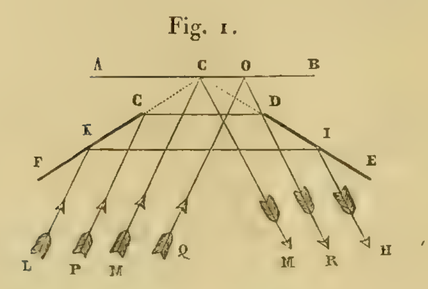
Pour cela, j'ai choisi le cas le plus commode, celui où la lumière est réfléchie dans l'air à la première surface d'une plaque de verre. Alors, d'après la première hypothèse, les rayons réfléchis doivent s'accorder dans leurs vibrations avec les rayons directs, en les supposant ramenés à la même direction, et abstraction faite de la différence des chemins parcourus; tandis que, suivant la seconde hypothèse au contraire, ils doivent différer d'une demi-ondulation. Il s'ensuit, qu'en faisant interférer les deux faisceaux lumineux sous un très-petit angle, de manière à produire des franges visibles, la bande centrale, qui répond aux points où les chemins parcourus sont égaux, doit être blanche, d'après la première hypothèse, et noire selon la seconde.

Pour établir cette interférence, j'ai reçu sur deux miroirs de verre noir, les rayons directs, et ceux qui avaient déjà subi une première réflexion sur une autre plaque de verre parfaitement transparente et noircie par derrière; cette réflexion sur deux miroirs pareils des rayons incidents et des rayons déjà réfléchis, en leur imprimant la même modification, ne pouvait pas altérer la différence résultant de la réflexion d'un des faisceaux lumineux sur le premier miroir (1).

---

(1) La réflexion sur le verre noir produit les mêmes modifications que sur un verre blanc, comme je m'en suis assuré en faisant interférer des rayons réfléchis sur une glace de verre noir, avec des rayons réfléchis sur un miroir de verre blanc. Il n'en est plus de même en substituant un miroir métallique au verre noir; les franges cessent alors d'être symétriques par rapport à la bande brillante du milieu.

Fig. 1.



Les deux miroirs de verre noir, destinés à ramener les deux faisceaux lumineux à des directions à peu près parallèles, étaient aussi disposés de façon que les chemins parcourus, répondant à la partie commune des deux champs lumineux, fussent sensiblement égaux ; ce que j'obtenais au moyen d'une épure tracée sur un carton de la manière indiquée par la figure 1 : F G est la plaque de verre transparent sur laquelle les rayons incidents éprouvent la première réflexion, AB et DE les deux miroirs noirs qui réfléchissent, le premier, les rayons venus directement du point lumineux, le second, ceux déjà réfléchis par la plaque de verre FG. Pour que les rayons incidents soient ramenés à des directions parallèles, il faut que les deux miroirs FG et DE fassent avec le miroir AB, des angles égaux à la moitié de l'angle NCB, que les rayons directs font avec ce même miroir AB; et pour que les chemins parcourus par les rayons LKIH et NCM soient égaux, il suffit que les plans des miroirs FG et DE prolongés rencontrent au même point C la surface du miroir AB. C'est d'après cette règle que toutes mes épures ont été tracées; mais comme on ne peut parvenir par un simple dessin au degré de précision nécessaire pour des expériences

aussi délicates, où une différence de quelques millièmes de millimètre dans les chemins parcourus suffit pour faire disparaître les franges, je faisais varier lentement la position du miroir DE à l'aide d'une vis de rappel, qui l'avançait ou le reculait parallèlement à lui-même dans une direction perpendiculaire à sa surface; et, par un tâtonnement très-court, je parvenais aisément à obtenir l'apparition des franges.

J'ai répété cette expérience sous des inclinaisons très-diverses; j'ai donné successivement à l'angle ACF, $7^\circ\frac{1}{2}$, 15°, 20°, 25°, $27^\circ\frac{1}{2}$, 30°, 35°, 40°, et j'ai toujours vu le milieu du groupe de franges occupé par une bande noire, conformément aux conséquences de la seconde hypothèse sur la réflexion.

Pour rendre la chose bien évidente, il faut rapprocher beaucoup entre elles les deux images du point lumineux, de manière à donner aux franges le plus de largeur possible, afin que l'effet prismatique de la loupe dont on se sert pour les observer, ne puisse pas occasionner de méprise sur le rang de chacune et sur la symétrie de leurs teintes (1). Alors les franges présentent des couleurs disposées symétriquement

---

(1) Il est une autre précaution à prendre pour parvenir à faire naître des franges; et, faute d'y avoir songé d'abord, j'ai cru pendant quelques jours que les deux faisceaux lumineux ne s'influençaient plus lorsque les rayons s'approchaient de l'incidence perpendiculaire. Cela tenait tout simplement à ce que je n'avais pas rapproché les miroirs DE et FG de AB, à mesure que je diminuais l'obliquité des rayons incidents; en sorte que les rayons PGDR et QOR, que je faisais interférer, étaient émanés du point lumineux sous des directions trop différentes. Or, j'ai fait voir dans mon premier mémoire sur la diffraction, que ce n'est que dans des intervalles angulaires assez petits qu'on peut considérer comme vibrant d'accord tous les rayons partis du foyer de la lentille dont on se sert pour former le point lumineux.

de part et d'autre de la bande noire centrale, qui est parfaitement incolore dans le milieu de sa largeur ; en sorte qu'on ne peut pas douter que ce ne soit un point de discordance complète pour toutes les espèces de rayons, et que les deux systèmes d'ondes, qui interfèrent, ne diffèrent en conséquence que d'une demi-ondulation. Les rayons, deux fois réfléchis sur le verre, diffèrent donc d'une demi-ondulation de ceux qui n'ont été réfléchis qu'une seule fois, ou, ce qui revient au même, les rayons, réfléchis une seule fois, diffèrent d'une demi-ondulation des rayons directs ou transmis, indépendamment des chemins parcourus, comptés à partir de la surface même de la glace. Ainsi l'expérience confirme, dans ses conséquences, l'hypothèse d'après laquelle la réflexion s'opérerait sur les particules mêmes des corps transparents.

Ces réflexions intérieures sur les particules propres des corps étaient déjà indiquées par d'autres phénomènes. Les couleurs, que la polarisation développe dans la lumière qui a éprouvé plusieurs réflexions sur des miroirs métalliques, démontrent, d'après le principe des interférences, qu'une partie des rayons réfléchis a pénétré dans l'intérieur même du métal jusqu'à une petite distance de sa surface. Car la lumière, ainsi modifiée, se comporte dans les lames cristallisées qu'on lui fait traverser, exactement comme si elle était composée de deux systèmes d'ondes, polarisés, l'un parallèlement, et l'autre perpendiculairement au plan d'incidence, et séparés par un intervalle plus ou moins grand, selon l'angle d'incidence et le nombre des réflexions successives.

Les corps les plus transparents ne réfléchissent pas seulement la lumière dans la couche très-mince qui touche à leur surface, mais encore de tous les autres points de leurs parties

intérieures; et cette lumière devient toujours sensible, quand le milieu réfléchissant a assez de profondeur.

L'atmosphère nous en présente un exemple frappant. L'abondance de la lumière solaire, qu'elle renvoie de toutes parts à nos yeux, même dans les jours où l'air est le plus pur, ne peut se concevoir, comme l'a observé M. Arago, qu'en supposant que ce sont les particules mêmes de l'air qui réfléchissent cette lumière, et que la faiblesse de ces réflexions partielles est compensée par leur multitude.

Les phénomènes de cette espèce deviennent faciles à concevoir dans l'hypothèse dont nous venons de voir les conséquences confirmées par l'expérience. En effet, les réflexions élémentaires résultant du choc des ondes lumineuses contre les particules propres des corps, ne peuvent se détruire complétement dans leur intérieur qu'autant que les intervalles qui les séparent sont infiniment petits, relativement à la longueur d'une ondulation; parce qu'alors on peut toujours trouver, derrière chaque particule, une autre particule située à une distance telle, que les rayons qu'elle tend à réfléchir diffèrent exactement d'une demi-ondulation de ceux qui seraient réfléchis par la première. Mais, dès que les intervalles qui séparent les molécules du milieu ne sont pas absolument nuls par rapport à la longueur d'une ondulation, il n'y a plus destruction complète des réflexions élémentaires dans l'intérieur du milieu, et elles finissent par devenir sensibles, lorsqu'elles s'ajoutent sur une grande profondeur (1).

(1) Cette manière d'envisager la réflexion laisse entrevoir la possibilité d'expliquer les couleurs propres des corps d'une manière plus satisfaisante que celle indiquée par Newton, qui ne paraît pas applicable à des liquides

Cette théorie de la réflexion, beaucoup plus générale et plus féconde en conséquences que l'autre hypothèse, qui ne peut s'appliquer qu'au cas particulier d'une transparence parfaite, a encore l'avantage de détruire, par ses fondements, l'objection qui a été faite contre le système des ondulations, relativement au phénomène de la dispersion des rayons colorés qui accompagne la réfraction. L'analyse démontre que les ondulations de diverses longueurs doivent se propager avec la même vitesse dans un fluide élastique homogène; en sorte que si le ralentissement de la lumière dans le verre, par exemple, ne dépendait que de la plus grande densité de l'éther qu'il contient, les différentes espèces d'ondes lumineuses, qui doivent se propager avec une égale vitesse dans le vide, c'est-à-dire, dans l'éther seul, éprouveraient un ralentissement égal dans le verre, et se réfracteraient en conséquence de la même manière; car le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction dépend uniquement de celui qui existe entre les vitesses de la lumière dans les deux milieux. Mais, d'après l'expérience que j'ai rapportée, il est très-probable que l'éther contenu dans le verre n'est pas sensiblement plus dense que celui qui l'environne; en sorte que le raccourcissement des ondes lumineuses qui pénètrent le verre est principalement dû à ses propres molécules, dont on ne peut pas d'ailleurs, et par une raison bien simple, ré-

---

colorés parfaitement limpides, dont les particules sont sans doute beaucoup plus petites que la longueur d'un accès même dans le verre, et auxquelles il faudrait en conséquence supposer des densités invraisemblables, et beaucoup plus grandes que celles qu'elles devraient avoir, d'après la même théorie, dans d'autres composés incolores d'une diaphanéité parfaite.

voquer en doute la grande influence dans le phénomène de la dispersion, puisqu'elle varie avec la nature ou l'arrangement de ces molécules, suivant des rapports tout à fait différents de ceux des pouvoirs réfringents moyens.

Mais celui de tous les phénomènes d'optique qui met le plus en évidence, peut-être, l'influence immédiate des particules des corps sur la marche de la lumière, c'est la double réfraction, qui nous fait voir un rayon polarisé changer de vitesse selon le sens dans lequel on tourne le cristal qu'on lui fait traverser, quoique la densité de l'éther qu'il renferme reste toujours la même.

Je citerai encore, à cette occasion, une loi que je viens de découvrir dans les phénomènes de double réfraction que présente le verre courbé, et qui fait voir jusqu'à quel point l'arrangement des molécules influe sur la marche de la lumière.

On sait que quand on courbe le verre, il acquiert des propriétés analogues à celles des lames minces cristallisées. Comme ces cristaux, il fait reparaître l'image extraordinaire en la colorant, ainsi que M. Brewster l'a remarqué depuis longtemps. L'analogie indique que ces teintes, parfaitement semblables à celles des lames minces cristallisées, doivent résulter aussi de l'interférence de deux systèmes d'ondes lumineuses, qui parcourent le verre courbé avec des vitesses inégales ; et c'est aussi ce que confirme l'expérience.

Pour mesurer les vitesses de ces deux systèmes d'ondes, j'ai employé le procédé délicat que fournit la diffraction. Après avoir courbé un parallélipipède de verre à l'aide d'un étau dans lequel une de ses extrémités était engagée, et d'une vis de pression qui appuyait sur l'autre extrémité, j'ai fait

passer au travers de ce parallélipipède deux faisceaux lumineux émanés d'un même point radieux et introduits par deux fentes pratiquées dans un écran qui interceptait le reste de la lumière ; elles n'avaient guère que $0^{mm},15$ de largeur, et étaient assez rapprochées l'une de l'autre pour que les deux faisceaux pussent interférer en raison de la dilatation qu'elles leur faisaient éprouver. Ces fentes répondaient à des points également éloignés de la ligne milieu, où les particules du verre n'éprouvent ni rapprochement ni écartement sensibles par l'effet de la flexion; ainsi les particules du verre se trouvaient aussi rapprochées dans le plan qui répondait à l'une des fentes, qu'elles s'étaient écartées dans celui qui passait par l'autre ; en sorte que la différence de marche entre les deux faisceaux lumineux devait être le double de celle d'un de ces systèmes d'ondes avec les rayons qui auraient suivi le plan milieu, dans lequel le verre n'est point modifié par la flexion, comme on pourrait d'ailleurs le vérifier par une expérience directe, en plaçant une des fentes vis-à-vis ce plan milieu.

Les franges produites par l'interférence de ces deux faisceaux lumineux ne présentaient plus les teintes vives et pures des anneaux colorés, comme avant la flexion du verre; mais elles offraient un mélange de ces teintes semblable à celui qui résulte de la superposition de deux groupes de franges dont les centres ne coïncident pas. En analysant la lumière avec un rhomboïde de spath calcaire, lorsque sa section principale était parallèle ou perpendiculaire à la ligne de courbure du verre, les franges de chaque image présentaient exactement les teintes des anneaux colorés ; mais la bande brillante centrale n'occupait pas la même po-

sition par rapport au fil du micromètre dans l'image ordinaire et dans l'image extraordinaire ; ce qui démontre que la différence de marche entre les deux faisceaux polarisés parallèlement à la ligne de courbure n'est pas la même que la différence de marche des deux faisceaux polarisés dans le plan normal.

En mesurant le déplacement des franges dans l'image ordinaire et dans l'image extraordinaire, occasionné par la flexion du verre, j'ai trouvé que, pour les rayons polarisés parallèlement aux faces courbées, il était précisément double de celui que présentaient les franges produites par les rayons polarisés suivant le plan normal.

Le raisonnement et toutes les analogies indiquent pour l'axe de double réfraction du verre courbé précisément la ligne de courbure (1), du moins quand la flexion est assez légère pour que les molécules du verre n'éprouvent de rap-

(1) En effet, concevons le parallélipipède de verre divisé en tranches très-minces parallèlement aux faces courbées ; le rapprochement ou l'écartement de ses particules augmente ou diminue avec la position des tranches, qui forment comme un assemblage de cristaux jouissant de la double réfraction à des degrés différents. Mais chaque tranche étant supposée très-mince, le rapprochement ou l'écartement de ses molécules ne varie pas sensiblement dans l'étendue de son épaisseur ; ainsi les molécules du verre n'éprouvant de déplacement sensible, par hypothèse, que suivant la direction des fibres longitudinales, l'arrangement des molécules dans le plan normal est tout à fait le même dans tous les sens autour de ces fibres, qui sont en conséquence les seules lignes qu'on puisse considérer comme les axes de double réfraction. Elles doivent effectivement en posséder la propriété caractéristique ; car il est évident qu'un rayon lumineux qui traverserait le verre suivant cette direction, devrait toujours le parcourir avec une égale vitesse, quel que fût l'azimut de son plan de polarisation.

prochement ou d'écartement sensible que dans cette direction. Cette hypothèse se trouve d'ailleurs confirmée par les expériences que j'ai faites sur la manière dont les teintes que la polarisation développe dans le verre courbé montent ou descendent dans l'ordre des anneaux, selon le sens suivant lequel on incline le verre.

J'admets donc que l'axe de double réfraction est la tangente à la courbe résultant de la flexion; alors j'appellerai rayons ordinaires ceux qui ont été polarisés parallèlement aux faces courbées, et rayons extraordinaires ceux qui ont été polarisés dans un plan perpendiculaire. Ainsi, d'après cette manière d'envisager les choses, le changement de vitesse de la lumière qui résulte du rapprochement ou de l'écartement des molécules du parallélipipède de verre est deux fois plus considérable dans les rayons qui ont éprouvé la réfraction ordinaire, que dans ceux qui ont été réfractés extraordinairement; résultat bien remarquable, puisqu'ici la double réfraction est du même ordre que le changement de réfraction qui résulte de la dilatation ou de la condensation du milieu.

J'ai essayé de déterminer la dilatation et la condensation absolue du parallélipipède de verre dans les points traversés par les faisceaux lumineux que je faisais interférer; mais je n'ai pas encore fait des observations assez nombreuses et assez précises pour déterminer la relation qui existe entre ces modifications et les variations qui en résultent dans la marche de la lumière. J'ai cependant reconnu que ces variations sont beaucoup moindres que celles que l'on conclurait de l'augmentation ou de la diminution de densité du milieu dans le système de l'émission, en supposant que l'attraction

exercée par le milieu sur les molécules lumineuses est proportionnelle à sa densité, ou dans le système des ondulations, en assimilant ce milieu à un fluide élastique homogène, dont la densité éprouverait les mêmes variations que la plaque de verre, son élasticité restant constante. Avec ces hypothèses, les deux théories conduisent à la même formule : je l'ai appliquée à plusieurs observations, dont une me paraît mériter quelque confiance, à raison du soin que j'y avais apporté. Or, le calcul m'a conduit, pour la variation que doit éprouver la vitesse de la lumière, à un résultat à très-peu près double de celui que m'avait donné cette expérience pour les rayons qui éprouvent les variations les plus sensibles dans leur marche, c'est-à-dire, les rayons ordinaires.

En admettant toujours que l'axe de double réfraction du verre courbé est dans la direction même de la courbure, j'ai trouvé, par le croisement de la plaque de verre avec des lames cristallisées, que la moitié située du côté de la convexité, ou la partie dilatée suivant l'axe, était du genre des cristaux attractifs, et la partie où les molécules du verre sont rapprochées dans le sens de l'axe, du genre des cristaux répulsifs, pour me servir des expressions usitées dans le système de l'émission; ou, en d'autres termes, et en envisageant la chose sous le point de vue de la théorie des ondulations, que lorsque la double réfraction est occasionnée par une dilatation suivant l'axe, c'est le rayon ordinaire qui marche plus vite que le rayon extraordinaire, et lorsqu'elle provient d'une condensation suivant l'axe, c'est au contraire le rayon extraordinaire qui devance le rayon ordinaire; ce qu'on pouvait déjà conclure des expériences de diffraction que je viens de rapporter.

M. Brewster avait déjà remarqué depuis longtemps cette analogie entre les deux moitiés d'une plaque de verre courbée et les cristaux attractifs et répulsifs. Mais je ne sache pas qu'il ait indiqué la direction de l'axe. Quoi qu'il en soit, il est très-probable qu'il l'aura supposé aussi parallèle à la ligne de courbure, car c'est l'hypothèse la plus naturelle (1).

Le mauvais temps et des occupations pressantes m'ont obligé d'abandonner momentanément mes recherches sur la double réfraction du verre courbé. Je me propose de les reprendre dans des circonstances plus favorables, et de déterminer, par des observations exactes, les rapprochements ou écartements des particules du verre qui répondent à chaque degré de différence de vitesse entre les rayons ordinaires et extraordinaires. Des expériences de ce genre, dans lesquelles on peut faire varier à volonté, et mesurer les modifications apportées dans l'arrangement des particules du milieu réfringent, jetteront peut-être quelque jour sur les causes mécaniques de la double réfraction.

---

(1) *P. S.* Depuis la rédaction de ce mémoire, je me suis assuré que M. Brewster avait déterminé la direction de l'axe de double réfraction dans le verre courbé, en inclinant les rayons incidents suivant des plans parallèles ou perpendiculaires à cet axe, et qu'il avait reconnu qu'il était parallèle au sens de la condensation ou de la dilatation du verre.

MÉMOIRE

SUR

LES PHÉNOMÈNES ROTATOIRES

OPÉRÉS DANS LE CRISTAL DE ROCHE,

PAR M. BIOT.

INTRODUCTION.

Ayant eu besoin récemment de rappeler devant l'Académie les lois expérimentales qui régissent les mouvements rotatoires des plans de polarisation de la lumière dans le quartz cristallisé, j'ai pensé que ce retour à des résultats déjà distants de tant d'années m'imposait l'obligation de revoir une dernière fois les éléments physiques sur lesquels je les ai établis, pour examiner s'ils nécessiteraient, dans leurs détails ou dans leur ensemble, des rectifications essentielles, après lesquelles ils pussent être employés avec sûreté. J'avais, pour cette révision, l'occasion la plus favorable. M. Soleil a mis

obligeamment à ma disposition, un très-grand nombre de plaques de cristal de roche, d'épaisseurs diverses, parfaitement régulières, et taillées perpendiculairement à leur axe, avec une rigueur qu'aucun autre artiste n'avait si généralement obtenue avant lui. En les étudiant avec la précision que l'on obtient aujourd'hui dans la mesure des pouvoirs rotatoires, j'ai pu soumettre toute cette classe de phénomènes à des épreuves délicates, qui n'auraient pas été praticables autrefois. J'ai été fort heureux de voir que mes anciennes déterminations n'étaient pas aussi imparfaites que j'aurais pu le craindre; qu'elles avaient même, à peu près, tout le degré d'exactitude qu'il est permis d'espérer, tant qu'on ne sera pas parvenu à les obtenir directement par des expériences faites sur des rayons de lumière simple, d'une réfrangibilité strictement définie. Je vais rapporter successivement les détails essentiels de ce nouvel examen, en les présentant dans l'ordre logique suivant lequel ils s'enchaînent. Le sujet est déjà si ancien, qu'il aura pour beaucoup de personnes le caractère de la nouveauté.

Le phénomène complexe, dont l'analyse fait l'objet de toutes ces recherches, a été découvert par M. Arago en 1811. Malus nous avait fait connaître, en 1810, les modifications remarquables que la réflexion spéculaire, opérée sous une certaine incidence, imprime aux faisceaux incolores de lumière naturelle; modifications qui les rendent susceptibles d'être ensuite partiellement réfléchis, ou totalement transmis, par les surfaces diaphanes qui les reçoivent sous la même incidence, et suivant certaines sections diamétrales de leur ligne de parcours. Il nomma ce phénomène, *la polarisation de la lumière*, considérant les faisceaux ainsi modifiés comme

offrant de véritables pans, ou faces latérales, par lesquels ils étaient diversement impressionnables. C'était la conclusion que Newton avait déjà tirée si hardiment et si logiquement des conditions de position relatives dans lesquelles des rayons de lumière naturelle, subdivisés par la double réfraction dans un premier rhomboïde de spath d'Islande, sont ensuite subdivisés ou non subdivisés par un rhomboïde subséquent. Malus rattacha cet effet de la double réfraction à celui de la réflexion spéculaire, sous l'incidence polarisante, en prouvant que les rayons modifiés par cette réflexion se comportaient, en traversant les rhomboïdes, comme s'ils eussent été modifiés par la double réfraction, et inversement. Ces deux découvertes de Malus, qu'une mort prématurée l'empêcha de suivre, ont été le principe et le point de départ de tous les travaux qui ont été faits depuis dans cette branche de l'optique, devenue si féconde, à laquelle est resté le nom qu'il lui avait donné.

Jusque-là, dans ces expériences de Malus, les faisceaux de lumière blanche, modifiés par l'un ou l'autre procédé, conservaient leur blancheur (1). L'action polarisante qui les impressionnait s'exerçait donc, ou semblait s'exercer également sur tous les rayons de réfrangibilités diverses dont ils étaient composés. Mais, en transmettant des faisceaux blancs pola-

(1) Du moins, en faisant abstraction des faibles effets de la dispersion prismatique, exercée par la réfraction extraordinaire qui, même sous l'incidence perpendiculaire, écarte de la normale la portion du faisceau qui la subit. Mais ce sont là des phénomènes d'un autre ordre; et tous les rayons dispersés ainsi par la réfraction extraordinaire sont polarisés dans un même sens.

risés par réflexion à travers des lames minces de mica de Sibérie, M. Arago découvrit que cette identité d'effets n'existait plus. Le faisceau ainsi transmis se voyait encore blanc, si on le recevait directement dans l'œil. Mais un prisme biréfringent le subdivisait en deux portions colorées de teintes complémentaires, qui variaient avec l'épaisseur de la lame, avec l'incidence sous laquelle le faisceau polarisé la traversait, et avec les positions qu'on lui donnait à elle-même dans son propre plan, l'incidence restant constante. M. Arago conclut de là que, dans de telles circonstances, les lames de mica présentées au faisceau polarisé ôtaient aux rayons de réfrangibilités diverses la simultanéité de polarisation que la réflexion spéculaire leur avait donnée. Il observa des effets de coloration analogues avec des lames minces de chaux sulfatée, et il en tira la même conséquence.

M. Arago chercha ensuite si la minceur des lames était une condition nécessaire de ces apparences; il reconnut qu'il n'en était pas ainsi. Il trouva une plaque de cristal de roche ayant plus de six millimètres d'épaisseur, qui, placée dans les mêmes circonstances que les lames minces de mica et de chaux sulfatée, produisait aussi des images colorées, quand la lumière blanche polarisée, qui la traversait, était analysée par un prisme biréfringent. Mais, dans l'analogie générale de ce phénomène avec les précédents, il se manifestait des différences de détail, que M. Arago reconnut et spécifia.

Lorsque les lames minces de mica et de chaux sulfatée étaient traversées perpendiculairement par le faisceau polarisé, les couleurs des images variaient si l'on tournait ces lames dans leur propre plan, le prisme analyseur restant

fixe. Un mouvement pareil imprimé à la plaque de cristal de roche, dans les mêmes conditions d'incidence et de fixité du prisme, ne produisait dans ces images aucune variation de couleur. Cela résultait de ce que la plaque se trouvait avoir été taillée perpendiculairement à l'axe du cristal; et M. Arago en fit la remarque. Mais lorsqu'on tournait le prisme analyseur, de manière à donner successivement à sa section principale diverses directions autour du faisceau transmis, en conservant la perpendicularité d'incidence, les teintes des deux images changeaient continuellement, suivant un mode régulier de succession, qui amenait progressivement dans l'une et dans l'autre des rayons dominants de réfrangibilités diverses. De là, M. Arago conclut avec justesse, comme caractère spécial du cas actuel, que ces rayons qui, avant de traverser la plaque de cristal, étaient tous polarisés dans un même sens, devaient se trouver polarisés dans des sens divers après l'avoir traversée. Le progrès de changement des teintes pendant la rotation du prisme analyseur, tel qu'il l'a décrit, est conforme à ce que nous savons maintenant être propre à une épaisseur d'environ six millimètres et demi ou sept millimètres. Mais le sens du mouvement du prisme n'ayant pas été spécifié, on ne peut plus reconnaître aujourd'hui, par ces seules indications, si la plaque observée détournait les plans de polarisation vers la droite, ou vers la gauche de l'observateur.

Continuant à suivre la même série d'idées, M. Arago chercha si les corps naturellement cristallisés ont seuls la propriété de polariser ainsi, dans des sens divers, les rayons lumineux d'inégale réfrangibilité qui ont été préalablement polarisés en un sens unique. Il reconnut que cette propriété ne leur

appartient pas exclusivement. Comme exemple de ce fait, il mentionne une plaque de flint-glass ayant environ huit millimètres d'épaisseur, qui, dans certaines plages de sa masse, troublait simultanément la polarisation primitive imprimée aux faisceaux de lumière blanche qui la traversaient, tandis qu'en d'autres parties elle agissait inégalement sur les rayons d'inégale réfrangibilité, puisqu'elle donnait des images colorées, comme les lames minces de mica, de chaux sulfatée, et comme la plaque de cristal de roche, quand le faisceau transmis était analysé par un prisme biréfringent.

Le mémoire, où M. Arago a consigné ces découvertes, fut lu à la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut le 11 août 1811, six mois avant la mort de Malus. Il est inséré sous cette date, dans la collection des Mémoires de cette compagnie pour la même année, page 93. J'en ai extrait ici les seules particularités qui se rapportent, comme antécédents, au sujet que je traite aujourd'hui (1).

Mes premières recherches sur les propriétés rotatoires du cristal de roche sont de deux années postérieures au mémoire de M. Arago. Elles furent communiquées à la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut le 31 mai 1813; et elles sont insérées sous cette date à la page 218 du volume de cette compagnie pour 1812, lequel ne parut qu'en

---

(1) Le volume de la collection académique, où se trouve le mémoire de M. Arago, n'a paru qu'en 1812. Mais des extraits fidèles, et à peu près textuels, de ce travail ont été imprimés, presque immédiatement après sa présentation, dans le Moniteur du 31 août 1811, page 932, ainsi que dans le Bulletin de la Société philomathique, aux numéros d'octobre et de novembre de cette même année.

1814. Je me bornerai aussi à en extraire les seuls résultats qui m'ont servi plus tard pour analyser physiquement cette série de phénomènes.

Afin d'avoir des éléments précis d'expériences, j'ai choisi un certain nombre d'aiguilles hexaédriques aussi pures que j'ai pu me les procurer, et j'ai fait extraire de chacune d'elles plusieurs plaques perpendiculaires à l'axe, dont je mesurai les épaisseurs au sphéromètre. J'ai ensuite étudié les effets optiques de ces plaques, en y transmettant, sous l'incidence perpendiculaire, un faisceau mince de la lumière blanche des nuées, dont tous les éléments étaient polarisés en un même sens par la réflexion spéculaire. J'analysais ce faisceau, après sa transmission, à l'aide d'un prisme biréfringent achromatisé, mû circulairement autour de sa direction par une alidade dont l'index parcourait le contour d'un cercle divisé en demi-degrés.

J'ai d'abord pris une de ces plaques, dont l'épaisseur était $13^{mm},416$; et j'ai observé dans toutes ses phases la succession des couleurs que présentaient les deux images réfractées, lorsqu'on tournait la section principale du prisme biréfringent, depuis la direction de la polarisation primitive jusqu'à une circonférence entière; puis je l'ai fait progressivement amincir de manière à l'amener graduellement à douze états d'épaisseurs moindres, que j'ai toutes mesurées au sphéromètre, et dont la plus petite était $0^{mm},400$. J'ai répété sur chacune de celles-ci les mêmes observations que sur la première. Alors les résultats étant réduits en tableaux, il devint manifeste que dans toutes ces plaques, dérivées du même aiguillé, les teintes de l'image extraordinaire suivaient un même ordre de succession, qui offrait un rapport continu

avec les variations de la réfrangibilité, lorsque l'on considérait le mouvement du prisme comme opéré de la droite vers la gauche de l'observateur. Je spécifiai cette relation par le caractère que j'ai toujours employé depuis. Je retrouvai ce même ordre de succession, ramenant les mêmes séries de teintes par le même mouvement du prisme dans plusieurs autres plaques extraites d'aiguilles différentes, où elles se reproduisaient exactement identiques aux mêmes épaisseurs.

La comparaison de ces résultats me fit apercevoir l'existence d'un minimum d'intensité de l'image extraordinaire, lequel se montrait dans un arc de déviation proportionnel aux épaisseurs, lorsque celles-ci n'excédaient pas 4^{mm}. C'étaient les premières phases de cette teinte que j'ai appelée depuis *la teinte de passage*, et qui se reproduit à des épaisseurs bien plus grandes, avec ce même caractère de proportionnalité dans les déviations où elle se montre. Mais ce fut seulement vingt ans plus tard, en 1832, que je parvins à lui reconnaître cette généralité d'application.

En répétant les mêmes observations sur des plaques tirées d'autres aiguilles, avec les mêmes soins et les mêmes moyens de mesure, j'en trouvai où la nature, ainsi que la succession des teintes, quoique toujours identiques aux précédentes, pour des épaisseurs égales, y correspondaient à un mouvement du prisme de sens inverse, c'est-à-dire, dirigé de la gauche vers la droite de l'observateur. Je désignai cette opposition par le caractère inverse du précédent.

La constance de la série des teintes dans ces deux classes de plaques, et la reproduction du minimum d'intensité de l'image extraordinaire, dans un même arc de déviation proportionnel aux épaisseurs, prouvaient que les plans de polari-

sation des divers rayons simples subissaient, dans toutes, un même mouvement de déviation continu, progressif, de sens constant dans une même aiguille, mais ayant, dans les deux classes, des sens opposés. On pouvait donc inférer de là, comme conséquence très-vraisemblable, que si un faisceau lumineux, préalablement polarisé en un sens unique, éprouvait successivement ces deux modes d'action dans des plaques d'épaisseur exactement égale, les déplacements imprimés au plan de polarisation de chaque rayon simple devaient se compenser mutuellement ; de sorte que tous ces plans se trouveraient finalement ramenés à leur direction primitive commune. Mais si les plaques combinées étaient d'épaisseur inégale, les déviations résultantes devaient correspondre, pour la grandeur comme pour le sens, à l'excédant d'épaisseur. Je confirmai ces deux prévisions par des épreuves variées qui s'y trouvèrent exactement concordantes. La découverte faite presque simultanément, par le docteur Brewster et par sir J. Herschell, de la coexistence occasionnelle des deux rotations dans des plages différentes d'une même plaque, est postérieure de plus de six années aux observations que je viens de rappeler, comme ces physiciens se sont toujours plu à le reconnaître (*).

Ces expériences constataient que le plan de polarisation de chaque rayon simple se déplaçait angulairement, dans toutes les épaisseurs d'une même aiguille, par un mouvement

(*) Le beau travail du docteur Brewster sur l'améthyste, où la coexistence des deux rotations est établie, porte la date de novembre 1819. Celui de sir J. Herschell, où la remarque analogue est consignée, est daté du 17 avril 1820.

continu et uniforme, dont la vitesse propre croissait avec la réfrangibilité. Pour aller plus loin, il aurait fallu mesurer directement ces vitesses. Je crus pouvoir y suppléer par des conditions tirées des changements de couleur que les images réfractées parcourent dans une même plaque, à mesure que l'on tourne le prisme analyseur. Mais ce phénomène était trop complexe pour fournir des données suffisamment sûres. Aussi, comme je l'ai déjà remarqué ailleurs, pour avoir abandonné un moment l'expérience, ce seul guide qui pût empêcher de s'égarer dans des recherches d'une espèce si nouvelle, je me trompai alors sur la loi de rotation que j'imaginai, et je me trompai encore, en croyant que les rayons lumineux soumis à ce genre d'action étaient ensuite réfractés par les corps cristallisés, autrement que les rayons qui ont été polarisés par les procédés ordinaires : ils le sont absolument de la même manière. Les particularités de coloration qui m'avaient semblé nécessiter cette différence, bien loin d'être des anomalies, deviennent des conséquences calculables de cette identité, lorsque l'on connaît les véritables lois des rotations.

Je ne rectifiai cette erreur que cinq ans plus tard. Dans l'intervalle, j'avais reconnu que des effets rotatoires analogues à ceux-là s'opéraient dans certains milieux liquides, où ils ne pouvaient être produits que par les particules mêmes, comme par autant de cristaux excessivement petits, agissant en succession. Je sentis que, le phénomène décelant dans de telles circonstances une propriété moléculaire des corps, il fallait débarrasser ses lois physiques de toute hypothèse, en déterminant, par l'expérience, les vitesses de rotation individuelles du plan de polarisation des différents rayons sim-

ples, dans le cristal de roche, où, d'après l'identité des phénomènes de coloration, elles paraissaient suivre les mêmes rapports que dans les liquides auxquels on avait jusque-là reconnu le pouvoir rotatoire. Ce fut l'objet d'un mémoire que je présentai à l'Académie le 22 septembre 1818, et qui est imprimé dans le tome II de sa collection. C'est ce même travail que je viens de revoir, en vérifiant ses éléments principaux par des expériences nouvelles, dont je vais rendre compte à l'Académie.

Pour premier moyen d'observation, j'employai alors un de ces verres rouges colorés par le protoxyde de cuivre, qui, sans être rigoureusement monochromatiques, transmettent cependant avec continuité une portion spécialement rouge du spectre; de sorte que la plage moyenne et la plus intense de leur transmission doit répondre à un certain rayon rouge d'une réfrangibilité constante. Je mesurai les arcs de déviation de ce rayon à travers huit plaques ayant des actions de sens divers, et dont les épaisseurs, évaluées par le sphéromètre, procédaient de $1^{mm},184$ à $7^{mm},510$. En réduisant tous ces résultats à l'épaisseur de 1 millimètre par le rapport de proportionnalité, j'obtins l'arc moyen de déviation de mon rayon rouge à travers cette unité d'épaisseur, lequel se trouva être $18^{\circ},414$. Le sens d'action des plaques ne me sembla pas y avoir d'influence appréciable.

Je viens d'éprouver cette ancienne évaluation sur les plaques parfaitement pures et perpendiculaires à l'axe de M. Soleil, en déterminant aussi leurs épaisseurs par le sphéromètre, et me servant du même verre rouge que j'avais conservé. Pour les plus épaisses, où la fixation du minimum d'intensité de l'image extraordinaire est la moins facile et la

moins certaine, j'ai trouvé sur 108° de déviation, tantôt 1° de plus que ne l'indiquait le calcul, tantôt 1° de moins. A des épaisseurs plus restreintes, où l'observation est plus sûre, des déviations de 71° se sont accordées exactement dans des séries composées de 20 déterminations partielles, dont les écarts extrêmes restaient compris entre 70° et 72°. D'après cela, je ne me croirais pas assuré de pouvoir changer l'ancienne évaluation pour une meilleure; et je pense que l'on peut provisoirement la conserver.

Maintenant il fallait placer ce rayon rouge dans le spectre, et le définir par la longueur d'accès qui y correspond. Je le fis par une expérience approximative, en examinant, dans l'obscurité, la portion que mon verre interceptait dans le spectre total formé par la flamme d'une lampe, et tâchant d'y marquer la place que le maximum de la transmission occupait sur la plage rouge directe. Je pus ainsi rapporter approximativement le rouge moyen du verre à sa réfrangibilité propre dans le spectre de Newton. J'évaluai de cette manière sa longueur d'accès dans le vide à 6,18614, en prenant, comme Newton, le millionième de pouce anglais pour unité, ce qui la réduit dans l'air à 6,18432.

Quoique cette estimation ne pût comporter qu'une faible erreur, je désirais depuis longtemps la reprendre par les procédés précis que fournissent aujourd'hui les raies du spectre. L'occasion m'en a été obligeamment fournie par un jeune physicien, M. Foucault, qui, en commun avec M. Fizeau, s'occupe présentement de recherches délicates sur les actions chimiques des rayons lumineux, pour lesquelles la fixation de ces raies est constamment nécessaire. Le spectre de Fraunhoffer étant projeté dans la chambre obscure par un hélios-

tat qui le maintenait immobile, on a placé le verre rouge devant la fente étroite par laquelle la lumière était admise. Puis la portion transmise étant reçue sur un écran blanc, M. Foucault a tracé au crayon les limites qui la renfermaient, en y marquant les raies B et C, qui étaient fort distinctes. Le maximum de transmission se trouvait à peu près au milieu de l'image, à une distance de la raie la plus réfrangible C, que j'estime avoir été environ les $\frac{8}{9}$ de l'intervalle de celle-ci à la raie B. Alors, tirant des expériences de Fraunhoffer les longueurs des ondulations propres à ces deux raies, et prenant les $\frac{8}{9}$ de leur différence pour les soustraire à l'ondulation de C, j'ai obtenu très-approximativement la longueur absolue d'ondulation propre à mon verre rouge. Le quart de cette longueur m'a donné la longueur d'accès correspondant, qui, réduite en millionièmes de pouce anglais, comme l'a fait Newton, s'est trouvée presque identique à celle que mon ancienne estimation m'avait donnée. Je rapporte en note (1)

(1) Dans toute l'étendue du spectre, les longueurs des accès décroissent continûment, à mesure que la réfrangibilité augmente. Ainsi, entre des rayons de réfrangibilités très-voisines, les différences de ces longueurs doivent être, à très-peu près, en rapport inverse des espaces qui séparent ces mêmes rayons sur un même spectre. Or, d'après les nombres que l'on trouvera consignés dans la note de la page 236, les longueurs d'accès, exprimées en millionièmes de pouce anglais, sont :

Pour la raie B	6,770175
Pour la raie C	6,461100
Différence pour l'intervalle BC	0,309075
Donc $\frac{8}{9}$ de l'intervalle BC	0,274733
Longueur d'accès de la raie C	6,461100
Différence ou accès pour le verre rouge	6,186367
Valeur adoptée dans mon mémoire de 1818	6,184320

les détails de ce petit calcul. Sur ce point encore je n'ai aucune correction à faire dont je puisse répondre.

La différence de ces évaluations est tout à fait négligeable : l'effet en serait inappréciable même dans l'arc de déviation du violet extrême, à 20 millimètres d'épaisseur ; car elle ne changerait cet arc que de 0°,682.

En regardant directement les raies du spectre à travers deux verres rouges pareils superposés, MM. Foucault et Fizeau ont reconnu que le maximum d'illumination du champ transmis se trouve à une très-petite distance de la raie C, en s'éloignant de B ; et ils m'ont fait vérifier ce résultat après eux. Les déviations observées à travers un tel système dans des plaques de cristal de roche devraient donc être rapportées à une longueur d'accès un peu moindre que celui de la raie C, en se rapprochant du rouge extrême de Newton. Ces longueurs sont exprimées à leur rang dans la note de la page 236. J'ai voulu vérifier cette appréciation par une expérience directe. Pour cela j'ai pris une plaque exerçant la rotation vers la gauche, et dont l'épaisseur mesurée au sphéromètre était 7^{mm},5077. D'après cela, si on l'eût observée à travers un seul verre rouge, le minimum d'intensité de l'image extraordinaire E aurait dû se trouver dans l'arc de déviation —138°,245, en comptant 18°,414 pour un millimètre. Or, en l'observant à travers les deux verres rouges superposés, j'ai trouvé le minimum de E dans l'arc de déviation — 130°,9, par une moyenne entre dix déterminations très-peu différentes les unes des autres. Maintenant, si l'on rapportait le rouge transmis par les deux verres à la raie C même, la déviation calculée par la raison inverse du carré des accès aurait dû être — 126°,73 ; et si on la rapportait au rouge extrême du spectre de Newton, sa valeur, calculée de même, serait—131°,05. Le premier résultat est moindre que la déviation observée, et le second est un peu plus grand. Ainsi, l'accès véritable qui correspondait au maximum réel de lumière rouge transmise était moindre que celui de la raie C, et un peu plus grand que celui du rouge extrême de Newton, lequel s'écarte de la raie C, du côté des rayons les plus réfrangibles. Cela s'accorde très-bien avec la position du maximum d'illumination observé parmi les raies du spectre, à travers les deux verres rouges superposés.

Je placerai ici une remarque qui nous deviendra ultérieurement fort essentielle. Lorsque Newton eut dispersé par le prisme tous les rayons de diverses réfrangibilités, qui composent un trait de lumière solaire, il partagea le spectre visible en sept portions, qu'il jugea chacune sensiblement monochromatique pour l'œil. Mais il n'a pas donné d'indice physique, qui marquât matériellement les limites de ces subdivisions, et qui en définît les extrémités, de sorte qu'on puisse les identifier aujourd'hui sur nos spectres par ce caractère : heureusement il assigne les longueurs d'accès qui y correspondent, et les exprime en millionièmes de pouce anglais. Or, d'une autre part, les expériences de Fraunhoffer donnent les longueurs des ondulations pour les sept raies principales qu'on observe dans toute l'étendue du spectre. Elles sont exprimées en parties du pouce français. Convertissez ces valeurs en millionièmes de pouce anglais, et prenez-en le quart, vous aurez les longueurs des accès newtoniens qui répondent aux sept raies de Fraunhoffer. En y comparant les accès des subdivisions newtoniennes, vous connaîtrez la place de ces subdivisions parmi les raies, et vous pourrez ainsi reporter le spectre de Newton sur celui de Fraunhoffer. Cette identification, que je rapporte ici en note, le montre un peu plus court, comme on devait s'y attendre (1). Ce que Newton appelle le rouge extrême coïncide presque avec la troisième raie du rouge désigné par C. Ainsi, en admettant, des deux parts, l'exactitude des éléments de comparaison qui

(1) Tableau général des longueurs d'accès dans l'air, exprimées en millionièmes de pouce anglais, tant pour les limites des sept nuances mono-

paraissent en effet également incontestables, toute la portion rouge la moins réfrangible du spectre solaire lui a échappé.

---

chromatiques de Newton que pour les sept raies principales de Fraunhoffer, dont les résultats sont désignés par Fr.

	SPECTRE de Fraunhoffer.	SPECTRE de Newton.	AMPLITUDES d'accès comprises entre les nuances monochromatiques de Newton.
Raie B dans le rouge Fr.	6,77017		
Raie C dans le rouge Fr.	6,46110		
Rouge extrême de Newton.	....	6,34406	
Limite du rouge et de l'orangé.	....	5,86497	Rouge.
Raie D dans l'orangé Fr.	5,79502	....	Orangé.
Limite de l'orangé et du jaune.	....	5,61798	
Limite du jaune et du vert.	....	5,23691	Jaune.
Raie E dans le vert Fr.	5,17687	....	Vert.
Limite du vert et du bleu.	....	4,84143	
Raie F dans le commencement du bleu Fr.	4,76657	....	Bleu.
Limite du bleu et de l'indigo.	....	4,51303	
Limite de l'indigo et du violet.	....	4,32297	Indigo.
Raie G vers la fin de l'indigo Fr.	4,22302	....	Violet.
Violet extrême de Newton.	....	3,99651	
Raie H dans le violet Fr.	3,86600		

Si l'on veut avoir ces longueurs d'accès exprimées en parties du millimètre, il faudra ajouter à chacun de leurs logarithmes tabulaires le loga-

Est-ce par l'imperfection de ses prismes, ou par l'interposition du ciel trop sombre de l'Angleterre? Ce dernier point méritérait d'être examiné. Vers l'autre bout du spectre, ce

---

rithme constant $\bar{5},4048320$, et prendre le nombre correspondant à la somme ainsi formée. On en déduirait les longueurs des ondulations, exprimées aussi en parties du millimètre, en multipliant chaque résultat par 4. Le logarithme constant ajouté est celui du millionième de pouce anglais exprimé en millimètres.

Les longueurs des accès newtoniens rapportées dans le tableau précédent offrent, dans leurs deux dernières décimales, quelques unités de différence avec celles que l'on trouve mentionnées à la page 109 du tome IV de mon Traité de physique. Cela vient de ce que, ici, elles sont toutes déduites de la longueur d'accès correspondante à la limite de l'orangé et du jaune, d'après les rapports rigoureux des nombres qui, selon Newton, lient les autres accès à celui-là. Au lieu que, dans mon Traité de physique, je les ai calculées avec les expressions de ces rapports, approchées seulement jusqu'à la quatrième décimale, ainsi que Newton les a employées lui-même dans la construction qu'il donne au commencement de la seconde partie du livre II de l'Optique, ne croyant pas sans doute pouvoir répondre des différences que produiraient les décimales ultérieures. Toutefois j'ai pensé qu'il serait préférable de conserver ici les rapports exacts, tels que Newton les a théoriquement établis. Selon ses énoncés, les longueurs des accès, correspondantes aux huit divisions chromatiques de son spectre, en partant du rouge extrême, sont entre elles comme les racines cubiques des carrés des nombres $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$, dont les couples, pris à égale distance des extrêmes, donnent toujours pour produit constant $\frac{1}{2}$. En outre, selon ses expériences, la longueur d'accès correspondante à la limite de l'orangé et du jaune, étant exprimée en millionièmes du pouce anglais, est, *dans l'air*, égale à $\frac{1000}{178}$. De là on déduit tous les nombres rapportés dans la seconde colonne de notre tableau.

que Newton appelle le violet extrême, n'atteint pas tout à fait la raie H, la dernière de celles que Fraunhoffer a définies, et que nous découvrons très-aisément. Quant aux portions du spectre de Fraunhoffer qui s'étendent hors des sept raies principales, et qui sont si faibles que l'œil ne peut les apercevoir qu'en lui cachant toutes les parties intermédiaires, il est très-concevable que Newton ne les ait pas vues, ou n'ait pas jugé nécessaire de les spécifier, comme étant insensibles dans les applications. Mais la portion du rouge la moins réfrangible, comprise entre les raies C B, qui excède son spectre, ne peut être négligée, du moins par nous. Or, elle n'a pas été comprise dans la règle pratique qu'il a donnée pour calculer les teintes apparentes qui résultent pour l'œil de l'association d'un nombre assigné de rayons simples, pris dans la lumière blanche composée de la totalité du spectre. Conséquemment, lorsque les teintes calculées par sa règle contiendront très-peu de rayons rouges; ou, lorsque l'effet optique de ces rayons y sera fortement dominé par un ensemble des autres propre à impressionner vivement l'œil, de manière à composer une teinte franche très-distincte du rouge; ou enfin, lorsque ce sera le rouge lui-même qui y dominera spécialement et lui donnera son caractère, l'effet produit sur l'œil pourra être tel que Newton l'a conçu, et tel aussi par l'expérience que sa règle le donne. Mais il en devra être autrement, si la teinte calculée est d'une apparence indécise, pâlie par une imitation abondante de blanc, résultant du mélange d'un grand nombre de rayons pris dans toutes les parties du spectre. Car alors, si la portion du rouge le moins réfrangible, omise par Newton, doit entrer partiellement ou en totalité dans la teinte qu'on observe, elle devra

paraître plus rouge que ne l'indique le calcul. Ces écarts de la règle, s'ils se présentent uniquement dans de telles circonstances, ne feront que montrer plus évidemment l'admirable justesse des combinaisons expérimentales sur lesquelles Newton l'a établie, et dont malheureusement il ne nous a pas fait connaître les détails. Ce cas d'exception vient précisément de s'offrir à moi, dans les nouvelles applications que j'ai faites de la règle de Newton aux couleurs données par les plaques de cristal de roche. Il a lieu, selon le calcul, comme par l'expérience, dans les épaisseurs intermédiaires entre dix et douze millimètres. Je ne le trouve bien marqué que là. Il m'avait échappé dans mes anciennes observations, n'ayant pas eu alors de plaque dont l'épaisseur tombât entre ces limites. La concordance parfaite qui se soutenait entre les teintes calculées et observées, à toutes les épaisseurs plus grandes ou moindres que j'avais expérimentées, ne m'avait pas fait suspecter cette interruption. Mais on verra, par les nouvelles épreuves que je rapporterai, qu'elle est parfaitement certaine; et la circonstance, où elle se manifeste ainsi avec tant d'évidence, est précisément telle, que la portion de rouge extrême, omise par Newton, se porte presque tout entière dans l'image ordinaire, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif; ce qui est la position fixe que j'avais choisie, pour comparer les teintes observées des images aux caractères chromatiques que la règle de Newton leur assigne d'après leur composition. Mais une fois ce désaccord constaté, et sa cause reconnue, il m'a été facile de le reproduire à beaucoup d'autres épaisseurs différentes de celles-là, en dirigeant la section principale du prisme analyseur, de ma-

nière à faire prédominer, dans l'une ou l'autre des deux images, les mêmes portions extrêmes du spectre que Newton a omises. C'est ce que l'on verra dans la suite du présent mémoire, sur lequel je ne veux pas anticiper, devant d'abord terminer l'exposé historique des recherches qui ont été nécessaires pour mesurer, au moins approximativement, les éléments simples du phénomène, et en recomposer un ensemble calculable, que l'on pût lui comparer.

Après avoir déterminé expérimentalement, comme je viens de le dire, la vitesse rotatoire du rayon moyen transmis par le verre rouge, et avoir défini ce rayon par sa longueur d'accès, il fallait obtenir les deux éléments analogues pour d'autres rayons appartenant à des portions différentes du spectre, et répartis sur son étendue en assez de points, pour que l'on pût espérer de découvrir, entre leurs vitesses de circulation, quelque relation numérique continue, qui fût, sinon rigoureuse, du moins suffisamment approchée. Pour cela, les verres colorés ne pouvaient plus servir, parce qu'ils transmettent trop de rayons de différente nature. On ne pouvait donc employer que des rayons pris dans les différentes parties d'un spectre fixé par un héliostat. Mais l'analyse du spectre était bien moins exacte il y a vingt-sept ans, qu'elle ne l'est devenue depuis par les découvertes de Fraunhoffer. En outre, la polarisation complète de ses différents rayons présente des difficultés que j'ai signalées, qu'on rencontrerait encore aujourd'hui ; et notre confrère M. Pouillet, qui, jeune alors, m'assistait dans ces expériences, peut se rappeler ce qu'elles ont exigé de soins, pour n'être encore qu'imparfaites. Ayant ainsi obtenu, de mon mieux, dans une même plaque les arcs de déviation de différents rayons, que je pouvais au

moins très-approximativement placer dans le spectre newtonien, et définir par leurs longueurs correspondantes d'accès, je rassemblai ces résultats, et je cherchai à les lier ensemble. Les vitesses de rotation se montraient croissantes avec la réfrangibilité. C'est le contraire pour les accès. J'essayai si elles suivraient le rapport inverse de leurs longueurs; il les faisait varier trop lentement. Le rapport inverse des carrés les reproduisit beaucoup mieux, entre des limites d'erreurs dont mes expériences ne pouvaient répondre. Le rapport inverse des cubes rendait leurs variations beaucoup trop rapides. Je m'arrêtai donc à la phase intermédiaire, non comme absolument sûre, mais comme étant celle qu'il fallait éprouver par de nouvelles vérifications, en cherchant si elle reproduisait les teintes complexes des images données par la double réfraction, dans toutes les amplitudes d'épaisseur où on les observe sensiblement colorées.

En effet, la détermination de ces teintes, pour chaque position donnée du prisme analyseur, n'est plus qu'une affaire de calcul, si l'on adopte les éléments d'expériences que je viens de rapporter. Prenons, comme exemple, une plaque dont l'épaisseur soit 1 millimètre. On connaît l'arc de déviation parcouru dans cette épaisseur par le rayon moyen transmis à travers le verre rouge, et dont la longueur d'accès a été assignée. De là on peut conclure les arcs de déviation propres aux rayons extrêmes du spectre newtonien, ainsi qu'aux limites des divisions monochromatiques intermédiaires, en les faisant réciproques aux carrés des longueurs d'accès qui y correspondent, et que Newton nous a données. On aura ainsi la distribution angulaire, tant absolue que relative, des huit plans de polarisation qui embrassent les sept nuances

monochromatiques, dans le faisceau blanc sorti de la plaque épaisse d'un millimètre; et l'on en déduira proportionnellement les arcs de déviation de ces mêmes plans, lorsque le faisceau aura traversé toute autre épaisseur assignée. On pourra alors construire des figures coloriées qui montreront la dispersion générale de tous les plans de polarisation du spectre, quand le faisceau blanc, primitivement polarisé en un seul sens, sortira des différentes plaques que l'on voudra soumettre à l'observation. C'est ce que j'ai fait pour treize plaques dont les épaisseurs étaient mesurées au sphéromètre, dans mon mémoire de 1818, en me bornant, comme je viens de le dire, aux limites extrêmes du spectre assignées par Newton, que l'on ne savait pas alors devoir être étendues plus loin.

Maintenant, concevons que l'on observe toutes ces plaques dans une même position assignée du prisme analyseur, par exemple, lorsque sa section principale coïncide avec la direction de la polarisation primitive; puis, considérant une portion infiniment petite du spectre dont l'arc de déviation moyen soit x, cherchons quelles proportions de cet élément devront entrer dans l'image ordinaire et dans l'image extraordinaire. C'est un problème que Malus nous a appris à résoudre. D'après ses inductions, que toutes les expériences subséquentes ont confirmées, l'image extraordinaire sera égale à la quantité totale i de lumière contenue dans cet élément, multipliée par le carré du sinus de l'angle x; et l'image ordinaire se composera de la même quantité i, multipliée par le carré du cosinus du même angle. Mais comme ces deux portions sont complémentaires l'une de l'autre, elles doivent contenir en somme la quantité de lumière to-

tale i polarisée dans l'arc x. Il suffit donc d'évaluer la première, pour en conclure la seconde par complément.

Voilà le calcul pour un élément infiniment petit du spectre. Maintenant, par une approximation qui se trouve être toujours suffisante, on peut considérer les plans de polarisation d'une même portion homochromatique, comme répartis uniformément entre les limites qui la comprennent, limites déjà précédemment déterminées pour chacune d'elles. Alors la sommation de toutes les quantités de lumière de cette nuance qui entrent dans l'une et l'autre image, s'obtient par un problème de calcul intégral facile à résoudre. Nommons a, a', les arcs de déviation qui la limitent dans l'ordre croissant des réfrangibilités, et I la quantité totale de lumière monochromatique qu'elle renferme. Les proportions de cette même lumière, qui composeront l'image ordinaire et l'image extraordinaire, dans la position ici assignée au prisme analyseur, auront les expressions suivantes, que j'ai données dans mon mémoire :

Image ordinaire

$$F_o = \frac{1}{2} I \left[1 + \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a)\right].$$

Image extraordinaire

$$F_e = \frac{1}{2} I \left[1 - \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a)\right].$$

R représente le rayon du cercle plié en arc. Si l'on exprime les arcs a, a', en degrés et fractions décimales de degrés sexagésimaux, la valeur connue de R est $57°,29578$, et son logarithme, évalué à sept décimales exactes, est 1,7581226. On peut donc calculer les valeurs du coefficient de I pour les sept divisions monochromatiques du spectre newtonien, en attribuant successivement aux arcs a, a', les valeurs qui les limitent

à la sortie de la plaque que l'on veut considérer; et rien n'empêche d'évaluer par la même expression les quantités de lumière fournies aux deux images, par les portions externes que Newton n'a pas vues, si l'on suppose qu'elles y entrent avec des intensités assez fortes pour influer sensiblement sur le caractère des teintes observées.

Jusqu'ici l'application numérique ne peut comporter de doute que dans l'emploi qu'on y fait du carré des accès, pour calculer les arcs de déviation a, a', qui limitent chaque division monochromatique; car l'arc de déviation absolue, observé à travers le verre rouge, et le mode de répartition d'un même rayon entre les deux images, sont des éléments donnés par l'expérience. Mais l'achèvement du problème va exiger en outre l'emploi de la règle de Newton, qui n'est pas établie par des expériences qu'il nous ait transmises, et que malheureusement personne encore n'a entrepris de vérifier directement, quoique ce soit une des plus belles recherches qui puissent occuper aujourd'hui un physicien exercé. L'introduction de cette règle dans la question traitée ici, en fournira donc seulement une nouvelle épreuve indirecte, ajoutée à d'autres du même genre qui déjà la justifient. Mais elle s'y trouvera en outre associée à la loi des déviations réciproque au carré des accès, dont l'établissement expérimental ne peut être considéré que comme approximatif. De sorte que l'accord des résultats avec les observations, si l'on trouve qu'il existe, donnera seulement une vérification conjointe, mais non pas individuelle, de la règle et de la loi.

Newton représente la somme des rayons de la lumière blanche par un nombre, qu'il répartit entre ses sept divisions monochromatiques du spectre, suivant certaines proportions

qu'il a assignées, et qu'il présente comme liées numériquement aux longueurs des accès propres aux rayons simples qui limitent ces nuances. Il ne nous a pas indiqué la série d'idées qui l'a conduit à adopter cette relation, ni même pourquoi il a établi, entre les longueurs des accès de ces rayons, certains rapports numériques dont toutes les expériences postérieures ont confirmé l'exactitude, et qui les lient entre eux par une remarquable condition de continuité. Bien plus, après tant d'études faites sur Newton, cette relation entre les longueurs des accès n'a été aperçue qu'en 1824 par un de mes plus intelligents élèves, M. Blanc, sous le nom duquel je l'ai publiée dans la troisième édition de mon Précis de Physique, tome II, page 434. Étant généralisée analytiquement, elle lie les accès dans toute l'étendue du spectre par une expression exponentielle, d'où l'on déduit numériquement tous les arcs attribués par Newton aux sept nuances monochromatiques dans la construction circulaire par laquelle il les compose; de sorte que cette minutieuse concordance rend comme indubitable que Newton a connu la relation analytique dont il s'agit, et qu'il en a fait usage; mais c'est encore un de ces secrets qu'il s'était malheureusement réservés. Par la richesse et l'exactitude singulière des déductions que sa règle fournit, on peut croire qu'elle se rattache aux propriétés les plus intimes de la lumière, considérée dans son action sur nos organes; mais ce beau sujet d'études physiques et mathématiques n'a encore été suivi par personne.

Admettant donc ce résultat des travaux de Newton comme un précepte à employer et à éprouver, il assigne les nombres proportionnels de rayons qui composent les sept divisions

monochromatiques de la lumière blanche, et que j'ai tout à l'heure désignés par I dans les formules. Si l'on suppose que l'on opère sur un trait de lumière ainsi constitué, dans lequel les portions extrêmes du spectre vues par Fraunhoffer n'entrent qu'en quantités négligeables, il faudra remplacer I par ces valeurs, et l'on aura les nombres absolus F_o, F_e de rayons lumineux que chaque division homochromatique du spectre newtonien fournit aux deux images ordinaire, extraordinaire, O, E.

Quand on a ces intensités ainsi exprimées, il vous donne une règle pour les rassembler, et pour en conclure la nuance monochromatique dont se rapproche le plus pour l'œil la teinte résultante, en assignant en outre les proportions de lumière de cette nuance, et de lumière tout à fait blanche, qui, réunies, produiraient dans l'œil la sensation d'une teinte pareille. J'ai réduit cette règle en formule dans mon Traité de Physique, tome III, page 451. Alors la combinaison des intensités F_o, F_e obtenues tout à l'heure, n'est plus qu'une affaire de calcul. Je l'ai effectuée ainsi, dans mon mémoire de 1818, pour les treize plaques de cristal de roche d'épaisseurs diverses depuis $0^{mm},400$ jusqu'à $13^{mm},416$, que j'avais soumises aux observations, en employant pour lumière incidente celle qu'envoient les nuages blancs de l'atmosphère. Les deux teintes résultantes, désignées par le calcul, se sont toujours trouvées conformes à l'expérience. Or, je ne pouvais pas me faire illusion à moi-même dans cette appréciation. Car les résultats de calcul que j'ai rapportés textuellement dans mon mémoire ont été ainsi comparés, non pas à des observations nouvelles, mais aux anciennes observations de ces mêmes plaques, déjà publiées dans mon mémoire de 1813, précisé-

ment pour cette position du prisme analyseur, à une époque où je n'avais aucune idée de les calculer un jour par la règle de Newton.

Cette fois, je représentai les résultats du calcul par deux figures qui désignent, pour la position supposée du prisme biréfringent, les teintes des deux images ordinaire, extraordinaire, à toutes les épaisseurs auxquelles on les voit sensiblement colorées. Je ne trouve rien à changer aujourd'hui à ces indications, si ce n'est une petite faute accidentelle de calcul numérique que j'indique ici en note (*), et la discordance locale de la règle de Newton pour les épaisseurs intermédiaires entre 10 millimètres et 12 millimètres, que je n'avais pas alors aperçue, n'ayant pas eu de plaque dont l'épaisseur tombât entre ces limites.

Les expériences de vérification que je viens de faire, sont consignées dans le mémoire qui fait suite à cette introduction. Ici, je me bornerai à dire qu'elles ont été effectuées directement sur un grand nombre de plaques, toutes soigneuse-

---

(*) Cette faute porte sur les points de l'une et l'autre courbe qui appartiennent à l'épaisseur de 15 millimètres, et qui ont été seulement construits d'après le calcul, parce que je n'avais pas de plaque de cette épaisseur. On avait employé dans la construction les valeurs suivantes :

Pour l'image extraordinaire : $U = 341^\circ\ 17'\ 1''$; $\Delta = 0{,}12435$. Pour l'image ordinaire : $U' = 161^\circ\ 17'\ 1''$; $\Delta' = 0{,}13788$;

tandis que les vraies valeurs sont :

Pour l'image extraordinaire : $U = 334^\circ\ 27'\ 25''$; $\Delta = 0{,}15097$. Pour l'image ordinaire : $U' = 154^\circ\ 27'\ 25''$; $\Delta' = 0{,}17717$

Cela rapproche un peu plus l'image extraordinaire du rouge pourpre, et l'image ordinaire d'un vert pâle, voisin de la limite du vert et du jaune. Ces indications sont d'accord avec l'observation qui donne à cette épaisseur E rouge, O vert jaunâtre pâle, très-peu coloré.

ment mesurées au sphéromètre, et tantôt étudiées isolément, tantôt superposées en systèmes multiples, pour constater l'exacte continuité du mouvement des plans de polarisation en passant de l'une à l'autre. J'ai ensuite reproduit et rassemblé tous ces résultats, en une seule série continue, qui embrasse l'étendue totale des épaisseurs où la colorisation des images est sensible. J'y ai employé un de ces appareils à épaisseur variable que construit fort habilement M. Soleil. Ce sont deux prismes égaux de cristal de roche, exerçant un pouvoir rotatoire de même nature, et ayant leurs surfaces externes perpendiculaires à leur axe individuel. Ils glissent au-devant l'un de l'autre dans leur monture commune par un mouvement de vis, comme cela se pratique dans les pièces usitées en mécanique, pour obtenir des variations continues d'épaisseur. Au commencement de leur course, où les deux prismes se recouvrent par leurs extrémités les plus minces, la somme de leurs actions est exactement compensée par une plaque à faces parallèles, perpendiculaire à l'axe, et exerçant un pouvoir rotatoire de nature contraire. L'effet résultant est alors le même que si l'épaisseur totale était nulle, et c'est là le point zéro de l'appareil. Un autre point est fixé de même expérimentalement par une seconde compensation, lorsque les prismes se recouvrent par leurs parties les plus épaisses ; et l'amplitude de course comprise entre ces deux termes est divisée également par une échelle graduée, qui indique les variations d'épaisseur en centièmes de millimètre. C'est dans la fixation de ces limites, par compensation, que consiste surtout ce que l'appareil offre d'ingénieux, et ce qui exige le plus d'habileté dans sa confection. Je ne me suis confié à celui que m'avait prêté M. Soleil, qu'après avoir vérifié sa graduation en

plusieurs points par des expériences de compensation analogues, faites avec des plaques dont j'avais moi-même mesuré les épaisseurs au sphéromètre; et je l'ai trouvée fort exacte dans toute son amplitude, ses plus grands écarts équivalant à de si petits intervalles d'épaisseurs, qu'on ne saurait en répondre dans de pareilles constructions. Le maximum de l'action résultante ne représentait qu'une épaisseur de 11 millimètres. Mais je l'ai étendue beaucoup plus loin, et je l'ai portée jusqu'à 27 millimètres, en interposant dans le trajet du rayon des plaques additionnelles de même nature, dont les épaisseurs m'étaient connues, et que je plaçais, ainsi que l'appareil lui-même, dans les conditions rigoureuses de perpendicularité d'incidence qui sont indispensables pour son usage.

J'ai pu alors vérifier avec continuité, dans tout cet intervalle, les deux figures qui expriment la succession des teintes des deux images; figures que j'avais autrefois construites par points dans mon mémoire de 1818, d'après mes expériences antérieures, en complétant les intermédiaires par les indications numériques déduites de la règle de Newton, et liant le tout par un tracé continu. Je n'ai pas cru inutile de les reproduire dans le présent mémoire, à cause de leur fréquent usage. On les trouvera sous les n°s 2 et 3. Or, en procédant ainsi, depuis les épaisseurs presque insensibles jusqu'à 10 millimètres, je n'ai pu voir sans étonnement la fidélité constante avec laquelle les teintes observées suivaient les courbes calculées, et se pliaient à leurs plus capricieuses inflexions, tant pour la nature des teintes que pour le degré de leur coloration, et pour l'accroissement progressif des quantités relatives de lumière qu'elles contiennent. Tout physicien qui voudra répéter cette épreuve sentira que la règle de Newton

doit avoir des bases bien réelles pour offrir un pareil accord, et que la relation du carré des accès qui entre avec elle comme élément dans ces calculs, ne peut pas non plus s'écarter beaucoup de la vérité. Pour cela, il suffit de considérer combien la distribution des plans de polarisation des divers rayons simples éprouve de changements dans l'intervalle de 10 millimètres d'épaisseur. D'abord, aux épaisseurs très-petites, ils sont tous très-peu écartés du sens de polarisation primitif qui leur était commun, et ils sont aussi très-peu séparés les uns des autres. Mais cet écart et cette séparation augmentent progressivement, et celle-ci surtout s'accroît avec beaucoup de rapidité à mesure que les plaques deviennent plus épaisses. Ainsi, quand le faisceau blanc, d'abord polarisé en un sens unique, a traversé une épaisseur de 10 millimètres, le plan de polarisation qui appartient au rouge extrême de Newton a tourné de 175°; et le plan de polarisation qui appartient à son violet extrême, a tourné de 441°. De sorte que l'ensemble des plans intermédiaires composant l'étendue totale du spectre qui a été visible pour lui, se trouve alors réparti sur une amplitude angulaire de 266°, ou presque les trois quarts d'une circonférence. Les sommes de rayons diversement réfrangibles que la double réfraction du prisme analyseur fait passer dans l'une ou l'autre image, depuis les plus petites épaisseurs jusqu'à cette limite, composent sans doute des mélanges beaucoup plus variés, et beaucoup plus complexes, que ceux que Newton a dû former artificiellement pour établir sa règle; et l'on peut être à bon droit surpris qu'elle s'y adapte si fidèlement.

Entre 10 et 12 millimètres d'épaisseur, la règle de Newton s'écarte des observations par une discordance d'autant plus

singulière qu'elle n'existe plus, ou n'est plus sensible, à des épaisseurs notablement plus grandes. Comme exemple spécial, je prends l'épaisseur 11^{mm},047, où elle est le mieux marquée, et pour laquelle, aussi, j'ai comparé avec le plus de soin les teintes des images O, E données par l'expérience, à celles que leur assigne le calcul fait d'après la règle. J'opérais avec la lumière blanche des nuées, polarisée par la réflexion spéculaire sur une glace noire. Quoique cette lumière puisse, à la rigueur, ne pas être supposée purement blanche, à cause du mélange qu'elle éprouve avec la teinte dominante de bleu, appartenant à la couche de l'atmosphère interposée, on doit au moins admettre qu'elle approche extrêmement d'une blancheur parfaite, au jugement de l'œil; et les légères variations que l'éclat plus ou moins vif du soleil y occasionne, bien que perceptibles, dans la chambre obscure, sur les nuances isolées des images O, E, ne le sont nullement à l'œil dans le trait total de lumière composé de leur somme. Or, en mettant la section principale du prisme analyseur en coïncidence avec le plan de polarisation primitif, et effectuant le calcul pour l'épaisseur assignée 11^{mm},047, en tenant seulement compte des quantités des diverses lumières comprises dans les divisions du spectre newtonien, la règle indique, pour l'image ordinaire O, un indigo très-pâle confinant au bleu, et pour l'image extraordinaire E, un orangé très-pâle tirant vers le jaune; tandis que, par l'expérience, la teinte de O qu'on observe est un rouge bleuâtre rose, et la teinte de E est un vert d'eau d'une nuance indécise, à peine coloré. La seule cause présumable que l'on puisse concevoir de cet écart exceptionnel, c'est que, à l'épaisseur précise ici considérée, les deux extrémités rouge et violette du spectre

que Newton n'a pas vues, ou auxquelles il n'a pas eu égard, ont leurs plans de polarisation distribués de manière à entrer en proportion dominante dans l'image ordinaire O. Ceci a surtout lieu pour la division terminale rouge qui passe presque en totalité dans cette image. On peut constater la réalité de ce fait, en réfractant simultanément les deux images O, E, par un prisme très-dispersif, et comparant les deux spectres ainsi formés; car le rouge de E se voit alors très-notablement plus court que celui de O, et l'extrémité de ce rouge, la moins réfrangible, y manque en totalité. On peut donc présumer qu'en se joignant dans O à la proportion du violet terminal qui s'y trouve aussi relativement plus abondante, elle fait passer au rouge bleuâtre la pâle nuance indigo que la règle de Newton assigne, d'après la seule combinaison des autres parties du spectre. Alors la nuance verdâtre à peine perceptible de E peut être produite par l'addition des éléments complémentaires provenant de ces divisions extrêmes, ou par le seul contraste du rouge de l'image O, qui est vue simultanément. Mais je ne saurais dire comment il faudrait modifier la règle de Newton pour y introduire ces additions qui semblent devenues aujourd'hui nécessaires. Vers 12 millimètres d'épaisseur la discordance cesse, soit parce que les teintes des deux images redeviennent plus franches, soit parce que les plans de polarisation des divisions extrêmes, qui excèdent le spectre de Newton, se trouvent répartis de manière à faire entrer leurs lumières, en proportions moins inégales, dans les deux images O, E. L'accord de la règle et de l'expérience se soutient dès lors, sans discontinuité, avec une approximation très-satisfaisante, au jugement de l'œil, jusqu'à l'épaisseur de 18 et 20 millimètres; après

quoi, l'excessive dispersion des plans de polarisation rend la coloration des images de plus en plus faible et difficile à juger exactement. L'application numérique de la règle de Newton à de tels cas aurait été inévitablement trop douteuse, pour que j'aie supposé utile de l'effectuer. Je me suis borné à suivre expérimentalement la succession des teintes jusqu'à l'épaisseur de $27^{mm},5$, où elles deviennent presque insensibles; et j'ai décrit de mon mieux leurs caractères, afin que les physiciens qui voudront étendre la règle de Newton aux divisions extrêmes du spectre, par les lois de rotation que j'ai assignées aux divers plans de polarisation, ou par d'autres plus exactes, trouvent les données expérimentales de ce travail toutes préparées. Les deux figures que j'avais insérées dans mon mémoire de 1818, et que je reproduis dans celui-ci sous les nos 2 et 3, étant ainsi vérifiées et complétées, fourniront déjà une approximation presque toujours suffisante, dans les épaisseurs qu'elles embrassent. Si l'on y joint les effets de compensation qui se produisent entre les plaques de pouvoir contraire, il n'y a aucune question de physique relative à la rotation des plans de polarisation, dans un système donné de plaques de cristal de roche, qui ne se résolve presque à la simple vue. C'est ce qu'on a pu reconnaître par les applications directes que j'ai eu l'occasion d'en faire aux questions de ce genre qui se sont présentées récemment devant l'Académie, et dont j'ai inséré les solutions dans les *Comptes rendus*.

Toutefois, l'influence sensible des portions extrêmes du spectre que Newton a omises dans sa règle, ne permettant plus d'y trouver un type de comparaison qui pût servir pour confirmer assez généralement les valeurs que j'avais attribuées aux vitesses de rotation absolues des divers rayons

simples, j'ai cherché s'il serait possible, au moins pour certains cas, d'établir directement, et indépendamment de cette règle, les caractères chromatiques des teintes résultantes, d'après la composition que ces vitesses assignent aux images dans des positions données du prisme analyseur, pour comparer ensuite ces résultats aux teintes réelles qui s'observent dans les circonstances supposées. C'est à quoi j'ai réussi dans deux cas très-étendus, sans avoir besoin d'introduire aucune hypothèse sur les intensités relatives d'illumination, propres aux diverses divisions chromatiques du spectre, comme Newton l'avait fait pour établir sa règle de la composition des teintes.

Le premier de ces cas est celui où tous les rayons simples compris entre les raies extrêmes B, H de Fraunhoffer, ont leurs plans de polarisation dispersés dans une amplitude angulaire totale qui n'excède pas un quadrant. D'après mes évaluations, cette condition a lieu, dans le cristal de roche, pour toutes les plaques perpendiculaires à l'axe dont l'épaisseur ne dépasse point, ou plutôt n'atteint pas tout à fait 3 millimètres. Alors, supposant la section principale du prisme analyseur dirigée dans le plan de polarisation primitif, je parviens, par un procédé de discussion direct, à définir complétement, pour les deux images, le caractère chromatique dominant des teintes résultantes, et la marche de leurs mutations progressives, avec une délicatesse d'appréciation qui atteint leurs moindres particularités, et je montre que l'expérience suit minutieusement ces indications du calcul dans tous leurs détails.

Le second cas que j'ai pu encore atteindre sans recourir à la règle de Newton, c'est celui où la section principale du

prisme analyseur est dirigée de manière à produire dans l'image extraordinaire cette teinte violet bleuâtre, que sa rapide transition du bleu au rouge, quand on tourne le prisme, m'a fait appeler la *teinte de passage*, et dont l'apparition est rendue si délicatement saisissable par ce caractère, qu'elle remplace avec avantage l'emploi de la lumière simple, dans les expériences courantes faites avec des plaques de cristal de roche, ou de toute autre substance dont le pouvoir rotatoire disperse les plans de polarisation sensiblement, selon la même loi. J'ai pu suivre cette teinte par une discussion directe, jusqu'à une épaisseur de 8 millimètres de cristal de roche perpendiculaire à l'axe; limite à laquelle, d'après mes évaluations, la totalité du spectre compris entre les raies extrêmes B, H de Fraunhoffer, a ses plans de polarisation répartis sur une amplitude angulaire de 254°. Cela comprend toutes les phases dans lesquelles le caractère de transition de cette teinte est pratiquement applicable. En me fondant sur les vitesses de rotation absolues et relatives que j'avais attribuées aux plans de polarisation des divers rayons simples, j'ai pu, dans tout cet intervalle d'épaisseur, établir directement le caractère chromatique dominant de la teinte, sa connexion avec celles qui la précèdent ou la suivent immédiatement dans le mouvement du prisme analyseur, la constance presque complète de sa nuance, et sa dégradation progressive vers le rouge, à mesure que l'épaisseur s'accroît. Tous ces résultats, minutieusement conformes à l'expérience, dérivent rigoureusement, et sans exception, de la loi physique que j'ai attribuée aux vitesses de rotation dans le cristal de roche; ils ne peuvent subsister, tels qu'ils sont, qu'avec elles; de sorte qu'ils en donnent une confirmation positive entre

les limites de précision que ce genre d'observation atteint.

Lorsque l'on sera parvenu à mesurer les vitesses de rotation des rayons simples, dans toute l'étendue du spectre visible, avec plus de rigueur que je n'ai pu le faire, le mode de discussion direct que je viens de signaler sera encore utile pour les vérifier par leur application, dans les deux cas très-étendus auxquels il s'adapte; et les nombres qu'on en déduira étant comparés à ceux que je donne, serviront pour les confirmer ou les corriger. Dans la même vue d'amélioration et de progrès ultérieurs, j'ai annexé à mon mémoire les détails d'un grand nombre d'observations nouvelles, faites dans toutes les positions angulaires du prisme analyseur, sur des plaques de cristal de roche exactement perpendiculaires à l'axe, ayant des épaisseurs très-variées, soigneusement mesurées au sphéromètre, et dont j'ai constaté les effets optiques avec toute l'attention dont j'ai été capable. Je les ai accompagnés de figures coloriées qui représentent les positions relatives des plans de polorisation propres aux diverses divisions chromatiques du spectre, comme je l'avais fait dans mon mémoire de 1818. Mais cette représentation est ici étendue à toutes les portions du spectre comprises entre les raies extrêmes B, H de Fraunhoffer. J'ai rapporté aussi les formules que j'avais établies autrefois pour calculer les éléments chromatiques des images dans toutes les positions quelconques du prisme analyseur, d'après les valeurs assignées aux vitesses angulaires de rotation, afin qu'on ne soit pas obligé d'aller reprendre ces détails dans les publications antérieures où ils sont épars. De cette manière, les physiciens qui voudraient analyser de nouveau ces curieux phénomènes, trouveront, dans le présent mémoire, tous les matériaux

d'une étude complète; et les géomètres qui voudraient les soumettre à des théories mathématiques, déduites des hypothèses que l'on peut former sur la nature de la lumière, y trouveront des éléments d'application tout préparés. J'ai tâché de faire en sorte qu'ils fussent suffisamment multipliés pour ce but, mais surtout qu'ils fussent fidèles.

Je n'ai pas négligé non plus d'employer le procédé ingénieux que MM. Fizeau et Foucault ont imaginé, et proposé dans le *Compte rendu* du 24 novembre 1845, pour vérifier, à posteriori, les valeurs assignées aux vitesses de rotation des différents rayons simples. Ce procédé peut s'énoncer mathématiquement de la manière suivante : Étant donnée une plaque de cristal de roche, ou de toute autre substance dont le pouvoir rotatoire est censé connu; exposez-là normalement en faisceau blanc, préalablement polarisé en un seul sens; puis, ayant placé la section principale du prisme analyseur dans une certaine direction angulaire, calculez, d'après les vitesses de rotation assignées aux plans de polarisation des divers rayons simples, quels sont, dans ces circonstances, les éléments chromatiques qui doivent manquer dans l'une et l'autre image. Cela fait, placez, après l'analyseur, un prisme à réfraction simple, très-dispersif; et voyez si les spectres des deux images, ainsi développés, présentent, dans leur longueur totale, des intermittences prévues. Pour adapter ce procédé d'expérimentation aux dispositions de l'appareil dont je fais usage, j'ai fixé le prisme dispersif sur l'alidade de l'analyseur par un bras métallique tournant, qui permettait de l'amener dans le trajet des rayons, ou de l'en écarter à volonté; puis, j'ai interposé antérieurement, dans ce même trajet, une fente métallique étroite que je

dirigeais parallèlement à l'alidade, pour obtenir, par cette limitation, des spectres dont les éléments chromatiques de réfrangibilités voisines n'empiétassent point trop les uns sur les autres. En opérant ainsi, dans les conditions les plus diverses, tant d'épaisseur des plaques que de position angulaire de l'analyseur, j'ai toujours trouvé les intermittences réalisées dans chaque spectre, comme le voulait le calcul, tant pour leur place que pour leur nombre. C'est donc une vérification matérielle des valeurs que j'avais attribuées aux vitesses de rotation. Toutefois, malgré la partialité favorable que cet accord doit naturellement m'inspirer pour le procédé dont il s'agit, je n'ose pas trop m'en prévaloir, parce que, telle que j'ai pu l'adapter à mon appareil, l'épreuve pourrait bien paraître plus séduisante que rigoureuse à des expérimentateurs scrupuleux. En effet, chaque élément chromatique, qui, selon le calcul, doit manquer mathématiquement dans l'une ou l'autre image, n'y disparaît pas physiquement seul. La disparition s'étend, pour l'œil, aux éléments homochromatiques voisins, dont la direction de polarisation propre diffère trop peu de celle-là, pour que le carré du sinus ou du cosinus de cet écart les amène en proportion perceptible dans la même image. Or, l'indétermination qui naît de cette circonstance est assez grande, quand on opère, comme je l'ai fait, avec la lumière des nuées transmise à travers des plaques, ou des systèmes de plaques, dont l'épaisseur ne peut jamais être que fort restreinte. Car, par la réunion de ces deux circonstances, les bandes noires, qui se forment dans chaque division homochromatique des spectres, ont toujours inévitablement une notable largeur. Alors, dans les limites d'épaisseur où ce

genre d'épreuve peut être réalisé, sans avoir à craindre d'autres causes d'erreur, il faudrait que les valeurs attribuées aux vitesses de rotation fussent bien défectueuses, pour que les intermittences ne se montrassent point dans les divisions chromatiques où le calcul les place. On pourrait sspérer plus de précision en opérant sur un trait de lumière solaire polarisée, dont la vivacité rétrécirait l'amplitude que chaque intermittence embrasse pour l'œil, à épaisseur égale; mais on y rencontrerait peut-être d'autres difficultés pratiques; et, ne l'ayant pas essayé, je n'oserais exprimer une opinion sur ce point. Quant à l'augmentation hypothétique des épaisseurs qui produirait le même effet, en rendant les intermittences plus nombreuses et leurs amplitudes plus fines, elle est bornée par des impossibilités physiques dans le cas actuel. Toutefois l'expérience, telle qu'on la réalise avec la lumière des nuées, à travers de médiocres épaisseurs, est déjà très-belle; et l'apparition des intermittences, aux points précis de chaque spectre où le calcul les indique, offrira un spectacle très-intéressant dans les cours publics, ces spectres étant alors formés avec la lumière solaire, et reçus en projection sur des tableaux blancs très-éloignés. On doit donc savoir beacoup de gré aux deux jeunes auteurs de l'avoir suggérée. A cette occasion, jè donne, dans mon Mémoire, une règle arithmétique fort simple, par laquelle on prévoit tout de suite le nombre total des intermittences qui doivent se former nécessairement, ou facultativement, dans l'nne et l'autre image, à travers toute plaque d'épaisseur assignée, pour chaque position que l'on veut donner à la section principale du prisme analyseur autour du faisceau lumineux transmis. Ces nombres croissent graduelle-

33.

ment, par sauts brusques, à mesure que l'épaisseur augmente; et il est assez singulier que, dans une même plaque, quelque épaisse qu'on la suppose, ceux qui appartiennent à l'un ou à l'autre des deux spectres ne peuvent jamais différer entre eux de plus d'une unité. En même temps qu'ils augmentent ainsi avec l'épaisseur, la raie noire, que chaque intermittence présente à l'œil, devient plus fine, parce que les éléments chromatiques de réfrangibilités voisines ayant leurs plans de polarisation propres plus séparés les uns des autres, ils échappent plus promptement aux conditions physiques d'une disparition commune. Mais le progrès idéal de ce rétrécissement est bientôt borné, dans les applications, par la lenteur avec laquelle le nombre des intermittences s'accroît. Car, pour l'étendre au delà de limites assez restreintes, il faudrait supposer des épaisseurs trop grandes pour se prêter à des observations précises, ou même pour être réalisables pratiquement. Ces diverses particularités, ainsi que le nombre absolu des intermittences qui peuvent se former dans chaque plaque, et les places où elles doivent se voir pour chaque position donnée du prisme analyseur, seront annoncées manifestement aux yeux, indépendamment de l'expérience, mais toujours en concordance avec elle, si l'on se sert de cercles coloriés, représentant, sur leur contour, la répartition acuelle des plans de polarisation propres à tous les éléments chromatiques de la lumière transmise à travers chaque plaque. Car, en fixant, au centre de ces cercles, des croix tournantes à branches rectangulaires, dont deux, diamétralement opposées, représenteront la section principale du prisme analyseur, et les deux autres, la section perpendiculaire, ces branches mar-

queront, sur le contour colorié, les rayons lumineux qui doivent manquer mathématiquement dans l'une ou l'autre image, selon la position du prisme, tout comme le ferait le calcul, quoique non pas, sans doute, si exactement. Et cette simple construction graphique pourra même ne pas être inutile au physicien expérimentateur, en lui désignant les directions du prisme analyseur, qui sont propres à mettre en évidence les phénomènes les plus délicats ou les plus instructifs que la distribution des plans de polarisation, à leur sortie de chaque plaque, peut spécialement présenter.

En résumé, les nouvelles épreuves que je viens d'énumérer, et que je rapporte dans le travail qu'on va lire, me paraissent établir que les plans de polarisation des différents rayons simples sont dispersés par le pouvoir rotatoire du cristal de roche, proportionnellement aux épaisseurs, et en raison sensiblement réciproque aux carrés des longueurs de leurs accès, comme je l'avais autrefois admis. Elles montrent aussi que la règle donnée par Newton, pour calculer les teintes résultantes d'un mélange assigné de rayons simples, représente, avec une approximation très-réelle, les impressions produites sur l'œil par de pareils mélanges; du moins lorsque les portions extrêmes du spectre, qu'il paraît y avoir omises, n'exercent pas, dans la teinte résultante, une influence dominante, dont sa règle fait abstraction. Il faut maintenant reprendre ces premières déterminations par les procédés précis d'expérience que l'on possède aujourd'hui, en opérant sur des rayons de lumière simple, strictement définis par les raies du spectre. On verra d'abord si la relation des carrés des accès doit être considérée seulement comme approximative, et rectifiée dans ses détails; ou si elle peut

être admise comme suffisamment rigoureuse. Quand ce point sera établi, les teintes des deux images, observées à travers des plaques de cristal de roche d'épaisseurs connues, fourniront des mélanges de rayons simples, en toutes sortes de proportions rigoureusement certaines. On pourra donc alors recommencer, avec bien plus de variété, comme de sûreté, les épreuves que Newton a dû faire pour établir sa règle de la composition des teintes résultantes, en perfectionner l'application, et peut-être remonter au principe secret qui lui a servi de guide pour la former. Ce sont de beaux travaux qui s'offrent aux physiciens à venir; et toutes mes espérances seront remplies, si les essais que j'ai tentés laborieusement dans cette voie de recherches, leur fournissent des points de départ suffisamment nets et assurés.

I.

Formules exprimant les intensités relatives des images dans lesquelles un faisceau de lumière polarisée, qui a traversé une plaque douée de pouvoir rotatoire, est subdivisé par un prisme biréfringent, formé d'un cristal à un seul axe, lequel reçoit perpendiculairement les rayons transmis.

1. Lorsqu'un faisceau de lumière blanche, préalablement polarisé en un sens unique, est transmis perpendiculairement à travers des plaques solides ou liquides à faces parallèles, douées du pouvoir rotatoire, si on le reçoit immédiatement dans l'œil après son émergence, on le voit blanc quand la plaque est diaphane, ou généralement coloré d'une seule teinte formée par l'ensemble des rayons lumineux que la plaque n'a point absorbés. Mais si on l'observe à travers un prisme biréfringent achromatisé, qui le reçoive pareillement sous l'incidence perpendiculaire, la double réfraction le sépare généralement en deux faisceaux, colorés de teintes diverses, dont la somme compose la lumière transmise. Pour chaque plaque ainsi étudiée, ces teintes varient avec l'angle que la section principale du prisme analyseur forme avec le plan de polarisation primitif; et pour des plaques différentes, observées dans une même position du prisme analyseur, elles varient encore, indépendamment de l'absorption, selon les grandeurs des déviations angulaires que chaque épaisseur du milieu traversé imprime aux plans de polarisation des divers rayons simples. Lorsque le mode de dispersion de ces plans a été déterminé par l'expérience, et se trouve ainsi assignable dans une plaque donnée, on peut, d'après les lois

connues de la double réfraction, calculer rigoureusement la composition des deux faisceaux colorés qui s'observent dans chaque position définie du prisme analyseur. Alors, en leur appliquant la règle de Newton pour déterminer la nature apparente des teintes, résultantes d'un mélange donné de rayons simples, on peut calculer celles des deux faisceaux par ce procédé, et voir si le résultat est conforme à l'expérience. Je vais rassembler ici les formules nécessaires pour ces deux genres d'applications, et j'en rendrai l'usage sensible par des exemples pris dans les phénomènes rotatoires du quartz cristallisé. Je n'entrerai pas dans le détail des démonstrations sur lesquelles ces formules reposent, mais j'indiquerai les passages, soit des traités spéciaux, soit des mémoires académiques où on les a établies.

2. Nommons e l'épaisseur de la plaque solide ou liquide, douée de pouvoir rotatoire, que l'on présente perpendiculairement à un faisceau de lumière blanche, préalablement polarisé en un sens unique. Pour plus de simplicité, je supposerai d'abord cette plaque sans couleur propre, en sorte que sa faculté absorbante soit insensible, ou s'exerce en même proportion sur tous les rayons simples, de manière à ne pas altérer la blancheur primitive du faisceau transmis. Parmi les éléments de réfrangibilités diverses dont ce faisceau est composé, isolons, par la pensée, un des groupes dont la nuance puisse être considérée comme sensiblement uniforme au jugement de l'œil, dans ses appréciations les plus délicates. Ce sera, si l'on veut, une des divisions newtoniennes du spectre visible; par exemple, celle qui comprend tout le rouge, depuis le rouge extrême jusqu'à la limite du rouge et de l'orangé. Les premiers de ces rayons, les moins

réfrangibles, subiront dans la plaque une modification qui, sans changer leur direction rectiligne d'une quantité appréciable, leur ôtera leur sens de polarisation primitif, et les fera sortir polarisés dans un autre plan, formant, avec le premier, un certain angle a. Les seconds, plus réfrangibles, subiront dans leur sens de polarisation une autre déviation angulaire a', qui sera généralement plus grande que la précédente, mais qui, selon certaines circonstances physiques, pourra aussi se trouver occasionnellement plus faible. Dans le quartz cristallisé, et dans beaucoup d'autres substances toutes liquides, les déviations a, a' se montrent toujours croissantes avec la réfrangibilité, en raison sensiblement réciproque des carrés des longueurs des accès newtoniens propres à chaque espèce de rayons. Quel que soit ce mode de distribution, tous les degrés de la nuance considérée, sensiblement uniforme au jugement de l'œil, et que j'appellerai, pour cette raison, *homochromatique,* auront, après leur émergence, tous leurs plans de polarisation répartis entre les limites de déviation angulaire a, a'.

3. Maintenant, si l'on vient à réfracter cet ensemble de rayons par un prisme biréfringent achromatisé, il s'y partagera généralement entre les deux réfractions, suivant les lois habituelles de ce genre de phénomènes. Pour rendre le calcul de ce partage aussi simple que possible, je suppose que le prisme soit formé d'un cristal à un seul axe : que ce soit, par exemple, un rhomboïde de spath d'Islande, dont la face destinée à être placée du côté de l'œil ait été rendue seulement très-peu oblique à l'autre, dans le sens de la petite diagonale, et achromatisée postérieurement par un prisme de crown-glass d'un angle convenable, comme je l'ai expli-

qué dans les instructions que j'ai publiées sur ce sujet. Alors, la section principale du prisme biréfringent sera celle du rhomboïde même. Quand on le présentera à un faisceau lumineux, sous l'incidence perpendiculaire, les deux faisceaux produits par les deux réfractions, l'ordinaire et l'extraordinaire, resteront dirigés dans le plan de cette section, le premier continuant sa route primitive d'incidence, le second légèrement dévié, de manière à pouvoir en être distingué facilement. Ces dispositions étant admises, si la section principale du prisme est dirigée dans l'angle de déviation α autour du plan de polarisation primitif, cet angle étant compté dans le même sens que les arcs de déviation a, a', j'ai démontré dans mon mémoire de 1818, page 64, que les intensités F_o, F_e des deux images réfractées, ordinaire, extraordinaire, provenant de chaque division homochromatique considérée, ont les expressions suivantes :

$$(1) \quad \begin{cases} F_o = \frac{1}{2} I \left[1 + \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a - 2\alpha)\right] \\ F_e = \frac{1}{2} I \left[1 - \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a - 2\alpha)\right]. \end{cases}$$

R représente ici ce qu'on appelle *l'arc égal au rayon*, c'est-à-dire le rayon plié en arc, et exprimé dans les mêmes unités de graduation que les arcs a, a', dont la différence entre en dénominateur. Si l'on emploie ces arcs énoncés en degrés et fractions décimales de degrés de la graduation sexagésimale, la valeur correspondante de R sera 57°,29578, et son logarithme tabulaire $\log R = 1,7581226$. En outre, I représente la quantité totale de lumière sensiblement homochromatique qui compose la nuance considérée, et dont les plans de polarisation sont supposés *uniformément* répartis sur

l'arc $a'-a$. Si la plaque douée de pouvoir rotatoire absorbait spécialement une certaine portion de cette lumière totale qui existe dans un faisceau blanc, il faudrait affaiblir I dans la même proportion. Si en outre la faculté absorbante s'exerçait inégalement, ou par intermittences, sur les éléments divers compris dans la division homochromatique dont a et a' désignent les limites terminales de déviation, il faudrait remplacer ces arcs par les valeurs spéciales qu'ils auraient, pour chaque subdivision de cette nuance, après sa sortie de la plaque considérée. Lorsque les intensités des éléments F_o, F_e auront été ainsi évaluées par les expressions précédentes, pour toutes les divisions homochromatiques du spectre transmis à travers la plaque considérée, leur somme formera les images ordinaire, extraordinaire, que je désigne par O, E. Il ne restera donc qu'à savoir composer ensemble ces éléments de manière à en conclure la teinte résultante de chaque image. C'est à quoi l'on peut parvenir au moyen d'une règle donnée par Newton, et que je vais expliquer (*).

---

(1) L'uniformité de répartition que je suppose ici aux divers plans de polarisation qui limitent une même nuance homochromatique transmise, n'est évidemment qu'une approximation, puisque l'arc de déviation des rayons simples qui se suivent dans cette nuance, varie avec la réfrangibilité. Dans le cristal de roche, par exemple, et dans toutes les substances qui suivent sensiblement la même loi de dispersion réciproque aux carrés des longueurs des accès newtoniens, les parties les plus réfrangibles de chaque nuance homochromatique pour l'œil, ont réellement leurs plans de polarisation propres plus séparés que les parties les moins réfrangibles. Mais cette inégalité de séparation est d'autant moindre qu'il y a moins de différence de réfrangibilité entre ces parties, et que leur arc de rotation absolu est

plus faible, c'est-à-dire, à mesure qu'on les observe à travers de plus petites épaisseurs dans la même substance. Cette dernière circonstance a généralement lieu dans les phénomènes de coloration produits par les pouvoirs rotatoires, puisqu'ils ne sont observables, dans chaque substance, qu'à des épaisseurs assez restreintes pour que la rotation n'ait pas dispersé les plans de polarisation des rayons simples sur un trop grand arc, au point de faire disparaître les teintes, par le mélange presque complet de tous les rayons, dans les deux images réfractées par le prisme analyseur. Or, dans ces amplitudes bornées de rotation, lorsque nous concevons le spectre total partagé en sept divisions, chacune sensiblement homochromatique pour l'œil, auxquelles nous assignons individuellement l'étendue angulaire comprise entre les arcs de déviation de ses rayons extrêmes, nous avons réellement égard à l'inégale dispersion des plans de polarisation, en passant d'une nuance à une autre. Alors la supposition d'une distribution uniforme de ces plans, dans l'amplitude angulaire de déviation qu'une même nuance embrasse, n'est plus qu'une approximation commode, de laquelle il ne peut résulter aucune erreur sensible pour l'œil, dans le calcul des teintes suffisamment marquées pour être éprouvées par l'observation. Si l'on voulait atteindre une plus grande rigueur mathématique, on pourrait l'obtenir en multipliant davantage les divisions établies par Newton dans le spectre, et assignant les longueurs d'accès correspondantes à ces nouvelles limites, que l'on tirerait, par exemple, des raies de Fraunhoffer, tant de celles qu'il a considérées que d'autres intermédiaires, dont on déterminerait les longueurs d'accès par des observations analogues aux siennes. Ayant ces longueurs, on assujettirait les rayons simples qu'elles définissent aux lois continues de rotation propres à la substance considérée; par exemple, en faisant, dans le cristal de roche, leurs déviations individuelles a, a' proportionnelles à l'épaisseur de chaque plaque, et réciproques aux carrés des longueurs de leurs accès. Alors les valeurs de F_o et de F_e étant calculées par les formules (1) pour ces deux limites, donneraient les portions de la lumière comprise entre elles, qui entrent dans l'une et l'autre image, pour la position de la section principale du prisme analyseur qui est désignée par l'arc α. Ou bien encore, on pourrait s'exempter de chercher la relation générale des accès avec les arcs de déviation, si l'on mesurait directement

ces arcs à travers l'unité d'épaisseur, pour chacune des lumières simples propres aux raies que l'on aurait choisies dans l'étendue totale du spectre, comme indices de divisions homochromatiques. Car, en faisant croître ces arcs proportionnellement aux épaisseurs, on aurait leurs valeurs actuelles a, a', qui limitent chacune des divisions dont il s'agit; et les formules (1) donneraient ensuite les proportions F_o, F_e, suivant lesquelles l'espèce spéciale de lumière qui s'y trouve comprise, se partage entre les deux images données par le prisme analyseur.

Si l'on voulait calculer théoriquement la nature des teintes composées, résultantes des proportions de lumières simples exprimées par les valeurs de F_o et de F_e pour toutes les divisions homochromatiques ainsi formées, il y aurait un travail ultérieur à faire. Car, à la vérité, en considérant d'abord celles qui seraient comprises dans l'étendue du spectre newtonien, on pourrait placer les rayons simples qui les limitent sur le contour de la circonférence newtonienne, d'après les longueurs d'accès qui leur sont propres, en se fondant sur la loi générale de division de cette circonférence, que j'ai exposée, d'après M. Blanc, dans la troisième édition de mon Précis de Physique, tome II, page 434; après quoi, conformément à la règle donnée par Newton, on calculerait la position du centre de gravité de l'arc compris dans chaque division; et, y plaçant idéalement la quantité totale de lumière F_o, ou F_e, qui s'y trouve répartie, on aurait à prendre le centre de gravité commun du système total formé par l'ensemble de leurs valeurs. Mais d'abord il faudrait pour cela pouvoir assigner une valeur numérique d'intensité à la lumière totale contenue dans chacune de ces divisions nouvelles du spectre, comme Newton l'a fait pour les sept qu'il a considérées, ce qui exigerait une appréciation expérimentale analogue pour chacune d'elles. En outre, il resterait à savoir comment on devrait placer sur la circonférence newtonienne les rayons propres aux portions extrêmes rouge et violette du spectre, que Newton n'a pas employées; ou même il faudrait examiner s'il ne serait pas nécessaire de modifier sa construction, pour pouvoir les y admettre. Ces recherches attendent le zèle et les efforts des physiciens futurs.

II.

Exposé de la règle donnée par Newton, pour calculer la teinte résultante d'un mélange donné de lumières simples.

4. Concevons deux lumières de même nuance, c'est-à-dire qui produisent dans l'œil la sensation d'une même couleur; ce qui peut avoir lieu, dans un grand nombre de cas, pour des mélanges très-différents de rayons simples. Concevons qu'étant transmises par des diaphragmes égaux, elles illuminent isolément des disques circulaires distincts, et de même étendue, sur un même papier blanc qui réfléchit également les rayons simples de toutes les réfrangibilités. Lorsque l'œil regardera simultanément ces disques sans recevoir aucune lumière étrangère, il pourra, selon les cas, les juger inégalement ou également lumineux. Alors, si, pour les amener à cette égalité, il faut éloigner diversement les deux sources lumineuses, leurs radiations arrivant toujours au papier sous les mêmes incidences, on pourra dire que leurs intensités propres sont directement proportionnelles aux carrés de ces distances, ce qui donnera un moyen de les comparer, et d'en obtenir des mesures relatives. Mais on ne peut pas comparer ainsi immédiatement des lumières de nuances dissemblables, parce que la diversité des impressions qu'elles produisent dans l'œil influe sur le jugement qu'il porte de leur éclat. Toutefois, on peut encore établir entre les intensités une comparaison indirecte par équivalence, en cherchant quelles proportions de chaque lumière peuvent se remplacer mutuellement dans des mélanges artificiels, pour

produire sur l'œil une même sensation. C'est ce que Newton a fait pour les diverses lumières simples contenues dans les sept divisions sensiblement homochromatiques, par lesquelles il a partagé le spectre solaire qui a été visible pour lui; et, en désignant l'intensité totale de la lumière blanche par le nombre $658\frac{1}{3}$, il a trouvé que les intensités propres de ses sept divisions homochromatiques étaient exprimées, *dans leurs rapports d'équivalence,* par les nombres suivants, que je désigne généralement par la lettre *i* affectée d'un indice tiré du nom de chaque couleur, comme on le voit dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des divisions homochromatiques du spectre solaire.	LEURS INTENSITÉS RESPECTIVES.
Rouge...........................	$i_r = \frac{1000}{9} = 111\frac{1}{9}$
Orange...........................	$i_o = \frac{1000}{16} = 62\frac{1}{2}$
Jaune...........................	$i_j = \frac{1000}{10} = 100$
Vert...........................	$i_v = \frac{1000}{9} = 111\frac{1}{9}$
Bleu...........................	$i_b = \frac{1000}{10} = 100$
Indigo...........................	$i_i = \frac{1000}{16} = 62\frac{1}{2}$
Violet...........................	$i_u = \frac{1000}{9} = 111\frac{1}{9}$

Cela donne les relations d'équivalence :

$$i_r - i_u = 0 \qquad i_o - i_i = 0 \qquad i_j - i_b = 0;$$

et la somme de ces sept valeurs, composant le nombre total des rayons de la lumière blanche, est alors

$$i_r + i_o + i_j + i_v + i_b + i_i + i_u = 658\,\frac{1}{3}\cdot$$

Toutefois, on ne doit pas considérer ces nombres comme absolus, mais comme devant être combinés dans leur association ultérieure, selon une règle que Newton donne, et que je vais expliquer.

5. Il l'expose dans la IIe partie du livre I de l'Optique, sixième proposition, problème II. Il n'a pas rapporté les détails des expériences qu'il a dû faire pour l'établir. Il dit seulement qu'on peut la vérifier, en concentrant, au foyer d'une lentille convergente, tous les rayons du spectre solaire réfracté par un prisme, de manière à les rassembler dans un petit espace circulaire que l'on reçoit sur un carton blanc dans la chambre obscure. Après quoi on intercepte telle ou telle portion connue des divisions homochromatiques dont la lumière concourt sur ce disque, et l'on examine la teinte résultante de la réunion des seuls rayons que l'on a admis à y concourir. Sans doute Newton a dû faire beaucoup d'autres épreuves analogues à celle-là, mais il ne les a pas spécifiées. Il n'a pas dit non plus ce qui l'a conduit à établir entre les intensités relatives des sept divisions, considérées dans leurs facultés d'illumination équivalentes, ces rapports réguliers qu'il leur a donnés, et qui sont intimement liés aux longueurs des accès. Tous ces secrets de son génie sont ensevelis dans sa tombe. On peut toutefois présumer que la constitution de la lumière qu'il appelle *blanche*, et à laquelle il applique ces

rapports, est considérée par lui comme quelque peu différente de la lumière solaire directe. Car dans un passage de l'Optique, où il a besoin d'une appréciation très-délicate, il dit que la lumière solaire a une nuance dominante de jaune, et il lui substitue, comme un type plus exact de blancheur, la *lumière blanche des nuées* (*). C'est aussi celle que j'ai employée dans toutes mes expériences sur les teintes des deux images qu'on observe à travers les plaques de cristal de roche. De sorte que l'on se conforme aux intentions les plus précises de Newton, lorsqu'en les calculant par sa règle, on applique, à la lumière totale qui les compose, les rapports d'intensité qu'il assigne aux sept divisions prismatiques de la lumière blanche, et dont je viens de donner le tableau.

6. Selon sa prescription, que nous ne pouvons plus que suivre, pour combiner les éléments chromatiques exprimés par les valeurs précédentes de i, ou par des fractions données de ces valeurs, il faut d'abord décrire un cercle dont la circonférence représente le nombre $658\frac{1}{3}$, et attribuer, à chaque nuance homochromatique, des arcs de cette circonférence proportionnels à la valeur de i qui lui est propre. Cela donne le mode de subdivision représenté ici figure Ire, et dans lequel la totalité de chaque nuance occupe les arcs suivants :

(*) Cette remarque se trouve dans la VIIIe proposition de la IIe partie du livre II de l'Optique, à la fin du problème III.

	POSITIONS des points de bissection, comptées continûment depuis le commencement du rouge extrême, de 0° à 360°.	AMPLITUDES des arcs occupés par la totalité de chaque nuance homochromatique.
Rouge extrême	0° 0′ 0″	
Rouge moyen	30 22 47	Rouge : 60° 45′ 34″
Limite du rouge et de l'orangé	60 45 34	
Orangé moyen	77 50 53	Orangé : 34 10 38
Limite de l'orangé et du jaune	94 56 12	
Jaune moyen	122 16 42	Jaune : 54 41 1
Limite du jaune et du vert	149 37 13	
Vert moyen	180 0 0	Vert : 60 45 34
Limite du vert et du bleu	210 22 47	
Bleu moyen	237 43 17	Bleu : 54 41 1
Limite du bleu et de l'indigo	265 3 48	
Indigo moyen	282 9 7	Indigo : 34 10 38
Limite de l'indigo et du violet	299 14 26	
Violet moyen	329 37 13	Violet : 60 45 34
Violet extrême	360 0 0	

7. Maintenant, du centre du cercle menez un rayon au milieu de l'arc occupé par chaque nuance homochromatique, et sur ce rayon marquez le centre de gravité de l'arc ; ce qui vous donnera les points *r*, *o*, *j*, *v*, *b*, *i*, *u*. Puis supposez que l'on compose une teinte qui doive contenir certaines portions données de toute la lumière simple comprise, dans chaque nuance

homochromatique du spectre, représentées par autant de fractions correspondantes des nombres i_r, i_o, i_j, i_v, i_b, i_i, i_u, que nous avons tout à l'heure calculés. Ces diverses quantités étant ainsi numériquement évaluées, il faudra les considérer comme autant de poids placés aux centres de gravité respectifs des arcs auxquels elles appartiennent, et chercher le centre de gravité du système total. Si ce centre se trouve tomber au centre même du cercle chromatique, la teinte composée équivaudra *pour l'œil* à une blancheur parfaite. Cela arrivera, par exemple, si les éléments numériques de la teinte étaient les quantités totales i_r, i_o, i_j, i_v, i_b, i_i, i_u, elles-mêmes associées sans réduction, ou en une même proportion de toutes. Dans d'autres cas, le centre de gravité du système tombera hors du centre du cercle à une distance Δ, dirigée vers un certain point de la circonférence. Alors la division à laquelle ce point appartiendra, désignera la nuance des couleurs du spectre à laquelle s'assimile le mieux pour l'œil la teinte composée, et la sensation produite par cette teinte sera comparable à celle que l'on obtiendrait, si l'on mêlait de la lumière simple désignée du spectre avec de la lumière blanche dans la proportion de Δ à $1-\Delta$, la distance Δ étant exprimée en parties du rayon du cercle chromatique pris pour unité de longueur.

8. Telle est la règle donnée par Newton. Je l'ai réduite en formule dans mon Traité de Physique, tome III, page 450. Je désigne la position du centre de gravité du système par deux coordonnées rectangulaires X, Y, comptées à partir du centre du cercle chromatique : la première sur le diamètre menée à la limite commune R du violet et du rouge, positivement vers cette limite, négativement du côté opposé ; la

seconde positivement vers l'orangé, négativement vers l'indigo. Ces deux coordonnées sont exprimées en parties du rayon du cercle chromatique pris pour unité. Alors, soient r, o, j, v, b, i, u, les quantités absolues de chaque lumière homochromatique qui composent la teinte cherchée, ces quantités étant des fractions données des intensités totales i_r, i_o, i_j, i_v, i_b, i_i, i_u, qui composent la lumière blanche, les coordonnées X et Y auront les expressions suivantes que j'extrais de mon Traité de Physique, en écrivant au-dessus des coefficients numériques leurs logarithmes tabulaires, dont on a sans cesse besoin (*):

$$X = \frac{(r+u).\overset{\bar{1},9153119}{0,822833} + (o+i).\overset{\bar{1},3168044}{0,207398} - (j+b).\overset{\bar{1},7109580}{0,513994} - v.\overset{\bar{1},9794558}{0,953796}}{r+o+j+v+b+i+u}$$

$$Y = \frac{(r-u).\overset{\bar{1},6833732}{0,482362} + (o-i).\overset{\bar{1},9837001}{0,963164} + (j-b).\overset{\bar{1},9104852}{0,813739}}{r+o+j+v+b+i+u}$$

X et Y étant calculés, on en déduira la distance Δ du centre de gravité du système au centre du cercle chromatique, ainsi que l'angle U, formé par cette distance avec l'axe des x positifs. Car on aura évidemment :

$$\text{tang } U = \frac{Y}{X}, \qquad \Delta = \frac{Y}{\sin U}, \qquad \text{ou bien} \qquad \Delta = \frac{X}{\cos U}.$$

La valeur de Δ devant toujours être positive, sin U devra être de même signe que Y; et cos U de même signe que X.

(*) Les nombres rapportés ici sont les mêmes que j'ai insérés dans mon Traité de Physique, sauf la correction occasionnelle de quelques unités sur la dernière décimale, provenant d'une nouvelle révision : la différence n'aurait, sur aucun résultat d'observation, une influence appréciable. Je n'ai pas besoin de justifier l'adjonction que j'ai faite à ces nombres de leurs logarithmes, car toutes les applications que j'exposerai ne peuvent se faire qu'avec leur secours.

Cela indiquera le quadrant auquel il faudra faire aboutir l'arc U conclu de tang U par la première équation. Cet arc étant compté continûment de 0° à 360°, indiquera la division spéciale du cercle chromatique vers laquelle la distance Δ se dirige. Les valeurs de Δ conclues des deux dernières équations devront se trouver égales entre elles, ce qui servira à vérifier l'exactitude de l'évaluation de U, laquelle peut évidemment s'obtenir par le seul rapport des numérateurs de Y et de X, puisque leur dénominateur est pareil. Quand Δ sera ainsi connu, les valeurs respectives de Δ et $1 - \Delta$ exprimeront les proportions de lumière simple et de lumière blanche, dont le mélange produirait dans l'œil une sensation équivalente à celle de la teinte composée des éléments désignés.

L'intensité absolue de l'image, formée dans l'œil par cette teinte, sera représentée par le nombre total N des rayons simples qui la composent, en attribuant à N la valeur

$$N = r + o + j + v + b + i + u,$$

et représentant par le nombre $658\frac{1}{3}$ l'intensité de l'image blanche à laquelle on est censé la comparer.

9. Concevons qu'on ait appliqué ces formules aux éléments donnés d'une certaine image extraite du faisceau blanc dont la quantité totale de lumière est représentée par $658\frac{1}{3}$, et que l'on ait obtenu les éléments U, Δ de la teinte résultante. Puis cherchons quelle devra être la teinte de l'image complémentaire, formée par la réunion de tous les autres éléments de ce faisceau. On y parviendrait directement si l'on recommençait un calcul pareil sur ces éléments, dont la somme totale que je désigne par N′ serait $658\frac{1}{3} - N$; et l'on obtiendrait les nouvelles valeurs U′, Δ′, qui caractérisent la teinte résultante cherchée. Mais on peut se dispenser de ce second calcul,

et conclure immédiatement U′ ainsi que Δ′, par la seule condition que les deux images réunies reproduisent le faisceau blanc total, qui est partagé entre les deux images. En effet, cela exige que les sommes partielles de rayons N, N′ étant respectivement placées à leurs centres de gravité propres, c'est-à-dire aux extrémités des distances Δ, Δ′, se fassent équilibre autour du centre du cercle chromatique, de sorte que le centre de gravité de leur ensemble tombe en ce point. Or, pour que ce résultat statique ait lieu, il faut d'abord que les deux poids N, N′ soient opposés l'un à l'autre des deux côtés du centre sur un même diamètre; et en outre que leurs moments statiques autour de ce centre, représentés par les produits N Δ, N′ Δ′, soient égaux. On devra donc avoir :

$$U' = 180° + U, \qquad \Delta' = \frac{\Delta N}{N'},$$

en faisant

$$N' = 658\tfrac{1}{3} - N.$$

Ces équations feront ainsi connaître les valeurs de U′ et de Δ′ propres à l'image complémentaire, lorsque l'on aura calculé U, Δ et N pour la première image.

10. Les expressions de X et de Y, données plus haut, sont susceptibles d'une vérification qui en atteste l'exactitude numérique. Désignons par les lettres I_r, I_o, I_j, I_b, I_i, I_u, les quantités absolues de lumière qui composent les sept divisions homochromatiques du cercle newtonien, et dont l'ensemble est censé former le blanc parfait. Concevons qu'on prenne de chacune d'elles une même proportion *c*, et qu'on en fasse le mélange : il devra encore en résulter du blanc; et en conséquence cette supposition étant introduite dans les expressions de X et Y, doit les réduire l'une et l'autre à zéro. Or, c'est en effet ce qui a lieu.

Pour le faire voir, il faut d'abord, conformément à la règle newtonienne, évaluer les éléments assemblés en quantités de rayons équivalents ; ce qui se fera en donnant aux diverses quantités I les valeurs respectives assignées par Newton dans le tableau de la page 271. Les expressions numériques à introduire dans les formules seront ainsi :

$$r=\frac{1000}{9}c,\qquad o=\frac{1000}{16}c,\qquad j=\frac{1000}{10}c,\qquad v=\frac{1000}{9}c,$$
$$b=\frac{1000}{10}c,\qquad i=\frac{1000}{16}c,\qquad v=\frac{1000}{9}c.$$

En substituant ces quantités dans X et Y, le produit $1000c$ disparaîtra comme facteur commun à leur numérateur et à leur dénominateur; de sorte que le résultat dépendra seulement des autres facteurs numériques qui lui sont associés. Or, déjà cette substitution rendra individuellement nuls les trois termes qui composent le numérateur de Y, puisqu'on aura évidemment :

$$r-u=0,\qquad o-i=0,\qquad j-b=0.$$

Quant au numérateur de X, ces mêmes conditions d'égalité le transformeront en

$$\frac{2}{9}.0{,}822833+\frac{2}{16}.0{,}207398-\frac{2}{10}.0{,}513994-\frac{1}{9}.0{,}953796.$$

Or, en effectuant le calcul numérique de chacun de ces termes, on trouvera encore qu'ils s'entre-détruisent ; ce qui donnera pareillement $X=o$. Les deux coordonnées X, Y étant ainsi nulles toutes deux, l'extrémité de la distance Δ, qui appartient à la teinte résultante, tombera au centre même du cercle chromatique, ce qui caractérisera cette teinte comme un blanc parfait, ainsi que l'exigeait le système d'éléments dont nous l'avions composée.

III.

Calcul des arcs de rotation décrits par les plans de polarisation des différents rayons simples à travers un millimètre de cristal de roche.

11. D'après les évaluations approximatives que j'ai rapportées plus haut, la longueur d'accès des rayons transmis par mon verre rouge, étant exprimée en millionièmes de pouce anglais, serait, *dans le vide*, 6,18614; et à travers une épaisseur de 1 millimètre de cristal de roche, le plan de polarisation de ces rayons décrirait un arc égal à 18°,414. Or, selon le tableau inséré à la page 109 du tome IV de mon Traité de Physique, la longueur des accès du rouge extrême de Newton, exprimée aussi en millionièmes de pouce anglais, est, dans le vide, 6,34628. Admettant donc que les arcs de rotation propres aux différents rayons simples sont réciproques aux carrés des longueurs de leurs accès, celui du rouge extrême newtonien, que je désigne par a_r, s'obtiendra, pour la même épaisseur, par le calcul suivant (*) :

(*) La valeur de l'accès du rouge extrême, que j'ai extraite ici de mon Traité de Physique, a été, comme toutes les autres, calculée, ainsi que le faisait Newton, en évaluant seulement avec quatre décimales les racines cubiques des carrés des nombres qui règlent les rapports des accès entre eux. Mais comme c'était parmi ces nombres approximatifs que j'avais classé mon verre rouge, j'ai cru devoir m'en servir encore pour évaluer l'arc de rotation du rouge qu'il transmet. Au reste, la différence produirait un effet

$$\begin{aligned}
\text{Log } 6{,}18614 &= 0{,}7914197 \\
\text{Log } 6{,}34628 &= 0{,}8025193 \\
\text{Log (rapport inverse)} &= \bar{1}{,}9889004 \\
\text{Log (carré)} &= \bar{1}{,}9778008 \\
\text{Log } 18^\circ{,}414 &= 1{,}2651481 \\
\text{Log } a_r &= 1{,}2429489\,;\quad a_r = 17^\circ{,}4964
\end{aligned}$$

Maintenant, selon l'énoncé de Newton, la longueur d'accès propre à ce rouge extrême étant désignée par 1, les longueurs des accès propres aux huit divisions homochromatiques du spectre, dans le même milieu, sont respectivement exprimées par les racines cubiques des carrés des nombres

$$1,\quad \frac{8}{9},\quad \frac{5}{6},\quad \frac{3}{4},\quad \frac{2}{3},\quad \frac{3}{5},\quad \frac{9}{16},\quad \frac{1}{2}.$$

Pour désigner les arcs de rotation qui y correspondent, j'emploierai la lettre a' affectée d'un indice tiré de la nuance homochromatique que termine la division considérée. Ainsi a'_r sera l'arc décrit par la fin du rouge ou le commencement de l'orangé ; a'_o sera l'arc décrit par la fin de l'orangé ou le commencement du rouge, et ainsi des autres. Admettant donc que ces arcs doivent être réciproques aux carrés des longueurs des accès respectifs, leurs valeurs s'obtiendront comme il suit:

---

si petit, qu'on n'en saurait répondre dans de telles appréciations. Car l'accès du rouge extrême dans le vide, étant rigoureusement calculé, serait 6,34593, au lieu de 6,34528 que l'on a employé ; et la valeur de a_r qui en résulterait deviendrait 17°,4983, au lieu de 17°,4964, que nous avons trouvé ici. Elle donnerait donc une rotation plus forte seulement de 0°,19 à travers une épaisseur de 100 millimètres, où les phénomènes de coloration ont depuis longtemps disparu. Des différences si petites échappent aux observations réelles, et la seule classification du verre rouge dans le spectre comporte sans doute des incertitudes plus grandes.

	$\log\left(\frac{8}{9}\right) = \bar{1},9488475$	$\log\left(\frac{5}{6}\right) = \bar{1},9208187$	$\log\left(\frac{3}{4}\right) = \bar{1},8750613$
	$\log\left(\frac{8}{9}\right)^2 = \bar{1},8976950$	$\log\left(\frac{5}{6}\right)^2 = \bar{1},8416374$	$\log\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \bar{1},7501226$
Logarithmes des accès.	$\log\left(\frac{8}{9}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},9658983$	$\log\left(\frac{5}{6}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},9472125$	$\log\left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},9167075$
Logarithmes des carrés des arcs...........	$\bar{1},9317966$	$\bar{1},8944250$	$\bar{1},8334150$
Logarithmes inverses...	0,0682034	0,1055750	0,1665850
Log a_r..............	1,2429489	1,2429489	1,2429489
Logarithmes des arcs de déviation.......	$\log a'_r = 1,3111523$	$\log a'_o = 1,3485239$	$\log a'_j = 1,4095339$
Arcs de déviation dans 1mm..............	$a'_r = 20°,4716$	$a'_o = 22°,3113$	$a'_j = 25°,6764$

J'ai calculé de la même manière les arcs de rotation millimétrique des rayons simples correspondants aux sept raies du spectre de Fraunhoffer, en partant des longueurs de leurs accès respectifs rapportés plus haut, page 236, et les comparant à la longueur d'accès du verre rouge, comme je l'ai fait ici pour obtenir a_r. Ces résultats rassemblés ont donné le

$\log\left(\frac{2}{3}\right) = \bar{1},8239087$	$\log\left(\frac{3}{5}\right) = \bar{1},7781513$	$\log\left(\frac{9}{16}\right) = \bar{1},7501225$	$\log\left(\frac{1}{2}\right) = \bar{1},6989700$
$\log\left(\frac{2}{3}\right)^2 = \bar{1},6478174$	$\log\left(\frac{3}{5}\right)^2 = \bar{1},5563026$	$\log\left(\frac{9}{16}\right)^2 = \bar{1},5002450$	$\log\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \bar{1},3979400$
$\log\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},8826058$	$\log\left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},8521009$	$\log\left(\frac{9}{16}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},8334150$	$\log\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}} = \bar{1},7993133$
$\bar{1},7652116$	$\bar{1},7042018$	$\bar{1},6668300$	$\bar{1},5986266$
0,2347884	0,2957982	0,3331700	0,4013734
1,2429489	1,2429489	1,2429489	1,2429489
$\log a'_r = 1,4777373$	$\log a'_b = 1,5387471$	$\log a'_i = 1,5761189$	$\log a'_u = 1,6443223$
$a'_r = 30°,0426$	$a'_b = 34°,5738$	$a'_i = 37°,6807$	$a'_u = 44°,0882$

tableau suivant des arcs de rotation dans une épaisseur d'un millimètre, auquel j'ai annexé les logarithmes de ces arcs, dont on a sans cesse besoin pour les transporter aux diverses épaisseurs que l'on veut considérer, et que l'on devra aussi exprimer en parties du millimètre pris pour unité de longueur.

Arcs de rotation des différents rayons simples à travers un millimètre de cristal de roche, perpendiculaire à l'axe.

	SPECTRE DE FRAUNHOFFER.		SPECTRE DE NEWTON.	
Raie B dans le rouge *Fr*......	$a_B = 15^\circ,3740$	$\log a_B = 1,1867873$		
Raie C dans le rouge *Fr*......	$a_C = 16,8800$	$\log a_C = 1,2273733$		
Rouge extrême de Newton,...	....		$a_r = 17^\circ,4964$	$\log a_r = 1,2429489$
Limite du rouge et de l'orangé.	....		$a'_r = 20,4716$	$\log a'_r = 1,3111523$
Raie D dans l'orangé *Fr*......	$a_D = 20,9835$	$\log a_D = 1,3218781$		
Limite de l'orangé et du jaune.	....		$a'_o = 22,3113$	$\log a'_o = 1,3485239$
Limite du jaune et du vert....	....		$a'_j = 25,6764$	$\log a'_j = 1,4095339$
Raie E dans le vert *Fr*........	$a_E = 26,2936$	$\log a_E = 1,4198511$		
Limite du vert et du bleu....	....		$a'_v = 30,0426$	$\log a'_v = 1,4777373$
Raie F dans le comm[t] du bleu *Fr*.	$a_F = 31,0153$	$\log a_F = 1,4915761$		
Limite du bleu et de l'indigo..	....		$a'_b = 34,5738$	$\log a'_b = 1,5387471$
Limite de l'indigo et du violet.	....		$a'_i = 37,6807$	$\log a'_i = 1,5761189$
Raie G vers la fin de l'indigo *Fr*.	$a_G = 39,5128$	$\log a_G = 1,5967381$		
Violet extrême de Newton....	....		$a'_u = 44,0882$	$\log a'_u = 1,6443223$
Raie H dans le violet *Fr*......	$a_H = 47,1478$	$\log a_H = 1,6734619$		

Les arcs de rotation attribués dans ce tableau aux rayons simples qui limitent les divisions du spectre de Newton, présentent, dans leurs deux dernières décimales, quelques légères différences avec les valeurs que j'avais assignées aux mêmes arcs dans mon mémoire de 1818. Cela vient de ce que, ici, tous ces arcs sont déduits du premier a_r, d'après les valeurs exactes des rapports numériques établis par Newton entre les accès; au lieu que, dans mon mémoire de 1818, ils avaient été déduits de ces rapports évalués seulement jusqu'à la quatrième décimale de leurs valeurs, ainsi que Newton l'avait pratiqué dans les applications qu'il en avait faites. Ces petites différences ne produiraient aucun effet dont on pût tenir compte dans des expériences de rotation; mais il m'a paru préférable d'employer ici les déductions rigoureuses, afin de présenter un type exact des valeurs auxquelles conduit la relation inverse du carré des longueurs des accès, tels que Newton les a conçus.

12. En adoptant ces résultats, et faisant croître les arcs de rotation proportionnellement aux épaisseurs des plaques, on pourra assigner numériquement les positions tant absolues que relatives des plans de polarisation de tous les rayons simples qui, étant préalablement polarisés dans un même sens connu, ont traversé perpendiculairement une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, dont l'épaisseur sera donnée. On pourra donc construire des figures coloriées, qui rendront la disposition finale de ces plans sensible aux yeux. Telles sont celles qui accompagnent ce mémoire. J'ai extrait la plupart d'entre elles de mon mémoire de 1818, en y ajoutant l'indication des plans de polarisation compris dans les divisions terminales rouge et violette que limitent les raies B, H,

du spectre de Fraunhoffer. Mais pour que l'on pût distinguer évidemment ces portions additionnelles, on les a mises à leurs places angulaires, la première en dedans, la dernière en dehors des bandes circulaires occupées par les divisions newtoniennes. En outre, lorsque le progrès des épaisseurs a étendu l'ensemble de celles-ci au delà d'une circonférence, on a continué les portions excédantes, en les rejetant sur un ou plusieurs cercles extérieurs, pour empêcher qu'elles recouvrissent les précédentes. Toutefois, les quantités de lumières comprises dans les sept divisions du spectre newtonien, sont les seules que l'on ait dû employer pour calculer les teintes des images par la règle de Newton. Car ce sont les seules que sa construction embrasse comme éléments de la lumière blanche, soit qu'il les prenne approximativement réunies dans un trait de lumière solaire, ainsi qu'il le fait presque toujours; soit que, pour plus d'exactitude, il tire leur ensemble de la réflexion des nuées. Afin de préparer la comparaison, suivie de l'expérience, avec les indications de cette règle ainsi restreinte, on a calculé, pour une série d'épaisseurs progressivement croissantes, les valeurs de U, Δ, U', Δ', qu'elle assigne comme éléments caractéristiques des teintes des deux images, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif; et l'on a rassemblé ces résultats dans une construction graphique en les liant par un tracé continu. Tel est l'objet des figures 2 et 3 que j'ai extraites de mon mémoire de 1818, en y corrigeant seulement quelques fautes de détail. La comparaison de cette construction avec l'expérience sera ici le sujet d'études beaucoup plus complètes que celles que j'avais pu faire alors. Mais, pour assurer les conséquences de cette nouvelle révision, je

vais la faire précéder par une discussion physique, où l'emploi de la règle de Newton sera numériquement éclairci par des exemples que je choisirai de manière à montrer les circonstances dans lesquelles ses indications peuvent être sensiblement d'accord avec les teintes observées, et celles où elle s'en écarte évidemment.

IV.

Discussion générale des formules qui donnent les éléments composants des deux images ordinaire, extraordinaire, pour une position quelconque du prisme analyseur ; avec leur restriction au cas où la section principale de ce prisme coïncide avec le plan de polarisation primitif.

13. Ces formules, déjà rapportées page 261, sont :

$$(1)\qquad F_o = \frac{1}{2} I\left[1 + R\frac{\sin(a'-a)}{(a'-a)}\cos(a'+a-2\alpha)\right],$$
$$F_e = \frac{1}{2} I\left[1 - R\frac{\sin(a'-a)}{(a'-a)}\cos(a'+a-2\alpha)\right].$$

Dans leur application la plus générale, a, a', désignent les arcs de déviation propres aux plans de polarisation qui limitent chaque nuance homochromatique, lorsque la lumière qui la compose a perdu son sens de polarisation primitif, en traversant la plaque que l'on veut considérer; soit que cette nuance embrasse une des sept divisions du spectre newtonien, soit qu'on l'ait restreinte à quelque subdivision d'une amplitude moindre, pour lui donner un homochromatisme plus parfait. I exprime la quantité totale de lumière comprise dans cette subdivision à sa sortie de la plaque ; et F_o, F_e représentent les proportions suivant lesquelles elle se partage entre les deux images ordinaire, extraordinaire, lorsque la section principale du prisme analyseur forme, avec le plan de polarisation primitif, l'angle désigné par α, lequel est compté en partant de ce plan vers la droite de l'observateur, depuis 0° jusqu'à 360°. J'exprimerai l'arc $a'-a$, qui se trouve

hors des signes trigonométriques, en degrés et fractions décimales de degrés sexagésimaux. Alors R, qui représente le rayon du cercle plié en arc, aura pour expression 57°,29578, dont le logarithme tabulaire est 1,7581226.

14. Le rapport $\frac{R \sin (a'-a)}{(a'-a)}$ est toujours moindre que $+1$. Il n'atteint cette valeur limite que dans le cas mathématique où l'arc $a'-a$ est supposé infiniment petit. A mesure que l'arc $a'-a$ augmente pour une même nuance homochromatique, c'est-à-dire, à mesure que l'épaisseur croissante écarte davantage les plans de polarisation extrêmes qui la comprennent, la valeur de ce rapport devient une fraction de plus en plus petite. Enfin, comme son numérateur a pour limite maximum R, tandis que son dénominateur croît toujours, proportionnellement à l'épaisseur de la plaque; si l'on suppose celle-ci infinie, le rapport devient nul, et il reste:

$$F_o = \frac{1}{2} I, \qquad F_e = \frac{1}{2} I.$$

Ainsi, dans ce cas extrême, la lumière qui compose la nuance considérée se partage, avec une parfaite égalité, entre les deux images, quelle que soit la position du prisme analyseur. Alors la condition de l'épaisseur infinie, produisant la même égalité de répartition mathématique pour chacune des divisions homochromatiques du spectre, les images résultantes de leur ensemble devront, dans toutes les positions du prisme, devenir toutes deux blanches comme la lumière incidente, et contenir chacune la moitié de son intensité totale. Cet acheminement progressif vers l'exacte égalité de répartition tient à une circonstance analytique évidente. Lorsque les plans de polarisation qui appartiennent à une

même nuance homochromatique sont uniformément répartis sur une ou plusieurs *demi-circonférences;* plus un certain excès d'arc, la portion de lumière comprise dans cet excès est seule partagée inégalement entre les deux images, tout le reste l'étant également. Car le facteur sin $(a'-a)$ devient nul pour ce reste, ce qui anéantit la portion variable de F_o et de F_e qui s'y rapporte; donc, si la portion excédante peut être considérée comme infiniment petite, comparativement à celle qui occupe une ou plusieurs demi-circonférences complètes, elle devient négligeable, et l'égalité de partage mathématique a lieu.

D'après cela, on conçoit que le même effet s'opérera sensiblement pour l'œil, bien avant le terme mathématique d'une épaisseur infinie, lorsque le rapport $\frac{R \sin(a'-a)}{(a'-a)}$, sans être rigoureusement nul, sera seulement assez affaibli pour que le produit de $\frac{1}{2}$ I par une si petite fraction ne forme plus qu'une quantité de lumière imperceptible à la sensation physique. Donc, à la limite d'épaisseur bien plus rapprochée où un tel affaiblissement aura lieu, le partage de chaque nuance homochromatique étant devenu *sensiblement* égal, les deux images résultantes F_o, F_e, devront commencer à paraître blanches, et d'une intensité égale dans toutes les positions du prisme analyseur. C'est ce que l'expérience confirme; et lorsqu'on opère sur la lumière des nuées réfléchie par une glace, cela a déjà lieu pour des plaques qui ont seulement quarante ou cinquante millimètres d'épaisseur. On peut même présumer qu'alors le sentiment de la coloration des images est éteint par la portion de lumière blanche qui se forme à des épaisseurs bien moindres que celles où l'inten-

sité propre de chaque nuance homochromatique cesserait de paraître variable dans les diverses positions du prisme analyseur, si on l'observait isolément.

15. L'autre cas limite, relatif à des épaisseurs infiniment petites, fournit aussi des applications approximatives qu'il est essentiel de spécifier. Proche de cette limite, c'est-à-dire, dans les épaisseurs qui sont physiquement fort petites, le rapport $\frac{R\sin(a'-a)}{(a'-a)}$ devient une fraction peu inférieure à l'unité, même en l'évaluant pour des divisions chromatiques, dont l'amplitude angulaire $a'-a$ n'est pas très-restreinte. Faisons donc généralement pour de tels cas :

$$R\frac{\sin(a'-a)}{(a'-a)} = 1-\omega.$$

Quand on substituera cette expression transformée dans les valeurs de F_o et de F_e, les deux termes $\frac{1}{2}I\{1+\cos(a'+a-2\alpha)\}$ de la première, étant réunis en un seul, formeront $I\cos^2\{\frac{1}{2}(a'+a)-\alpha\}$; et les deux termes $\frac{1}{2}I\{1-\cos(a'+a-2\alpha)\}$ de la seconde se réuniront en $I\sin^2\{\frac{1}{2}(a'+a)-\alpha\}$. On aura donc en somme

$$F_o = I\cos^2\left[\frac{1}{2}(a'+a)-\alpha\right] - \frac{1}{2}I\omega\cos(a'+a-2\alpha),$$

$$F_e = I\sin^2\left[\frac{1}{2}(a'+a)-\alpha\right] + \frac{1}{2}I\omega\cos(a'+a-2\alpha).$$

D'après cela, lorsque ω sera une fraction assez petite pour que le produit $\frac{1}{2}I\omega$ exprime une portion de la lumière totale I qui soit inappréciable à la sensation de l'observateur, on pourra négliger le dernier terme de ces expressions, et se borner à évaluer F_o, F_e par leurs premiers termes. Les intensités des deux images ainsi calculées se trouveront alors

sensiblement les mêmes qu'on les obtiendrait, si toute la lumière qui compose chaque nuance homochromatique considérée était polarisée dans l'arc de déviation moyen $\frac{1}{2}(a'+a)$; et leur évaluation, lorsqu'elle pourra être restreinte à ces expressions approximatives, en deviendra beaucoup plus simple.

16. Les circonstances qui permettent de s'y borner s'obtiennent par l'affaiblissement individuel des deux éléments I et $a'-a$, c'est-à-dire par le peu d'intensité de la quantité de lumière contenue dans la division homochromatique que l'on considère, et par la limitation de l'amplitude angulaire sur laquelle ses plans de polarisation se trouvent répartis. Ces deux conditions pourraient toujours être remplies, même pour des épaisseurs quelconques, en restreignant convenablement les divisions du spectre auxquelles on applique isolément le calcul. Mais leur trop grande multiplicité ferait disparaître les avantages de cette simplification. En conséquence, je me bornerai à chercher, jusqu'à quelles limites d'épaisseur de cristal de roche, on peut employer, sans erreur sensible, ces expressions approchées, en les appliquant aux divisions du spectre newtonien, et attribuant aux intensités I les médiocres valeurs qu'elles ont lorsqu'on opère sur la lumière des nuées polarisées par réflexion sur une glace noire. A cet effet, je calcule les valeurs numériques du facteur ω, relativement à diverses épaisseurs de cristal pour la division violette, laquelle y a ses plans de polarisation plus dispersés que toutes les autres, et j'obtiens ainsi les résultats compris dans le tableau suivant :

ÉPAISSEUR de la plaque de cristal de roche considérée e.	VALEUR de l'arc $a'-a$, à cette épaisseur, pour la division violette du spectre newtonien.	VALEUR du rapport $\frac{R \sin(a'-a)}{(a'-a)}$ conclue.	Son supplément à l'unité, ou valeurs du facteur ω.	VALEURS de $\frac{1}{2}\omega$.
mm. 1,0	6°,4075 = 6° 24′ 27″	0,997917	0,002083	0,001041
2,0	12,8150 = 12 48 54	0,991685	0,008315	0,004157
3,0	19,2225 = 19 13 21	0,981345	0,018655	0,009327
4,0	25,6300 = 25 37 48	0,966982	0,033018	0,016309
4,5	28,83375 = 28 50 15	0,958322	0,041678	0,020839
5,0	32,0375 = 32 2 15	0,948699	0,051301	0,025650

La limite d'épaisseur jusqu'à laquelle on pourra négliger ici le produit $\frac{1}{2}I\omega \cos(a' + a - 2\alpha)$, dépendra de l'intensité I de la lumière sur laquelle on opère. Si elle est telle que $\frac{1}{100}$ de cette lumière soit sans effet sensible sur l'œil, on pourra, sans crainte d'erreur, employer l'approximation jusqu'à 3 millimètres, puisque, à cette épaisseur même, $\frac{1}{2}\omega$ n'atteint pas tout à fait cette valeur pour la division violette du spectre, dont les plans de polarisation sont le plus dispersés; et il y sera bien plus faible encore pour toutes les autres divisions homochromatiques, dont les plans de polarisation sont répartis sur des amplitudes beaucoup moindres. J'userai donc de cette faculté dans les premières applications que je vais considérer; car les épaisseurs que j'aurai occasion d'y employer seront toutes moindres que 3 milli-

mètres ; et les phénomènes de coloration que j'y discuterai sont ceux que l'on observe avec la lumière des nuées polarisée par réflexion sur une glace noire ; auquel cas des fractions de l'ordre que nous venons d'évaluer sont tout à fait imperceptibles pour l'œil, dans le violet que cette lumière contient. Leur influence sur les teintes résultantes est même encore insaisissable à des épaisseurs notablement plus grandes que celles-là. En effet, dans mon travail *sur la polarisation circulaire*, inséré au tome XIII des Mémoires de l'Académie, j'avais constaté, par l'expérience, que, jusqu'à des épaisseurs de 4 millimètres et 5 millimètres de cristal de roche, on pouvait calculer les teintes des images par la règle de Newton, en négligeant le terme qui se trouve ici avoir pour facteur $\frac{1}{2}\omega$, sans que les teintes ainsi obtenues différassent sensiblement de celles que donnent les expressions complètes de F_o et de F_e. On voit maintenant la raison physique de ce fait. Car le terme dépendant de ω doit sans doute avoir beaucoup moins d'influence sur le caractère de la coloration des teintes résultantes, qu'il n'en a dans l'expression des quantités totales de lumières homochromatiques dont chaque image est composée.

17. Admettons, pour un moment, que les observations doivent être restreintes à ces limites d'épaisseur, entre lesquelles le terme affecté du facteur ω peut être considéré comme nul, ou négligeable, sans inconvénient. Les expressions de F_o et de F_e, propres à chaque nuance homochromatique, prendront alors ces formes simplifiées :

$$(2)\quad F_o = I\cos^2\left[\frac{1}{2}(a' + a) - \alpha\right], \quad F_e = I\sin^2\left[\frac{1}{2}(a' + a) - \alpha\right].$$

Il suffira évidemment de calculer l'une d'elles pour avoir

l'autre par complément, comme dans tous les autres cas. En outre, pour chaque position du prisme analyseur, désignée par l'arc α, cette évaluation dépendra seulement de l'arc moyen $\frac{1}{2}(a' + a)$ propre à chaque division homochromatique que l'on voudra considérer. Adoptons les sept du spectre de Newton, en les complétant par les intervalles de leurs limites extrêmes aux raies B et H de Fraunhoffer. Le tableau suivant exprimera, pour une épaisseur de 1 millimètre de cristal de roche, l'ensemble de tous ces arcs moyens que je désigne par la lettre ρ, affectée d'indices qui spécifient la division homochromatique à laquelles ils appartiennent. Je distingue par le signe ′ les deux que nous y ajoutons, en dehors du spectre newtonien. J'y joins les amplitudes individuelles de ces divisions, que je désigne par la lettre ρ', affectée d'indices semblables. On obtiendra ensuite les valeurs de ces arcs pour toute épaisseur, plus grande ou moindre, en multipliant les nombres rapportés dans le tableau, par cette épaisseur, exprimée aussi en parties du millimètre.

Arcs de rotation moyens de toutes les divisions homochromatiques, comprises entre les raies B et H de Fraunhoffer, à travers une épaisseur de 1^{mm} de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, avec les amplitudes de ces divisons pour la même épaisseur.

DÉSIGNATION DES DIVISIONS.		ARCS de rotation moyens, en degrés sexagésimaux.	LEURS LOGARITHMES TABULAIRES.	AMPLITUDES DES DIVISIONS.	LEURS LOGARITHMES TABULAIRES.
Terminale rouge....		$\rho_{r'} = 16^\circ,43520$	$\log \rho_{r'} = 1,2157750$	$\rho'_{r'} = 2^\circ,1224$	$\log \rho'_{r'} = 0,3268272$
Spectre newtonien.	Rouge..	$\rho_r = 18,98400$	$\log \rho_r = 1,2783877$	$\rho'_r = 2,9752$	$\log \rho'_r = 0,4735162$
	Orangé..	$\rho_o = 21,39145$	$\log \rho_o = 1,3302402$	$\rho'_o = 1,8397$	$\log \rho'_o = 0,2647470$
	Jaune...	$\rho_j = 23,99385$	$\log \rho_j = 1,3801000$	$\rho'_j = 3,3651$	$\log \rho'_j = 0,5269980$
	Vert....	$\rho_v = 27,85950$	$\log \rho_v = 1,4449733$	$\rho'_v = 4,3662$	$\log \rho'_v = 0,6401036$
	Bleu....	$\rho_b = 32,30820$	$\log \rho_b = 1,5093128$	$\rho'_b = 4,5312$	$\log \rho'_b = 0,6562132$
	Indigo..	$\rho_i = 36,12725$	$\log \rho_i = 1,5578349$	$\rho'_i = 3,1069$	$\log \rho'_i = 0,4923273$
	Violet...	$\rho_u = 40,88445$	$\log \rho_u = 1,6115582$	$\rho'_u = 6,4075$	$\log \rho'_u = 0,8066886$
Terminale violette...		$\rho_{u'} = 45,61800$	$\log \rho_{u'} = 1,6591362$	$\rho'_{u'} = 3,0596$	$\log \rho'_{u'} = 0,4856647$

18. Je vais appliquer d'abord les formules (2) au cas où la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif. Alors, il faut faire α nul ; et en désignant par e l'épaisseur de la plaque considérée, exprimée en parties du millimètre, on a généralement, pour une division homochromatique quelconque,

$$(3) \qquad F_o = I \cos^2 \rho e, \qquad F_e = I \sin^2 \rho e.$$

Il ne restera plus qu'à mettre dans ces expressions les valeurs simultanées de e et de ρ propres à l'épaisseur, et à la divi-

sion homochromatique, pour lesquelles on voudra les obtenir numériquement, en parties de la quantité totale I de lumière que cette division contient.

19. Je considère spécialement F_e. Nous avons reconnu, § 16, que l'on peut faire usage de son expression ainsi abrégée, pour toutes les épaisseurs *e* de cristal de roche qui n'excèdent pas 3 millimètres, même en l'appliquant à des divisions angulaires aussi étendues que celles du spectre newtonien. En nous renfermant dans ces limites, prenons l'épaisseur *e* assez petite pour que le sinus de l'arc ρe puisse être supposé proportionnel à cet arc, sans qu'il en résulte d'erreur appréciable pour l'œil, dans l'évaluation de F_e. Nous aurons pour tous les cas pareils

$$F_e = I\frac{\rho^2 e^2}{R^2}.$$

R représente toujours ici le rayon du cercle plié en arc, et exprimé en mêmes parties de la graduation du cercle que l'arc ρ. Ayant exprimé les valeurs de ρ en degrés sexagésimaux, nous devrons prendre, comme précédemment, $R = 57°,29578$ et $\log R = 1,7581226$.

20. Il faut maintenant examiner jusqu'à quelle limite d'épaisseur cette nouvelle abréviation pourra être employée sans erreur sensible. A cet effet, je forme le tableau suivant, qui offre la comparaison numérique des valeurs de $\sin^2 \rho e$ et de $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$ pour diverses valeurs progressivement croissantes de l'arc ρe.

VALEURS supposées de l'arc ρe.	VALEURS correspondantes de $\sin^2 \rho e$.	VALEURS correspondantes de $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$.	EXCÈS de la seconde évaluation sur la première.
10°	0,0301537	0,0304617	0,0003080
15	0,0669873	0,0685389	0,0015516
20	0,1169778	0,1218470	0,0048692
25	0,1786040	0,1903860	0,0117800

D'après les nombres contenus dans la dernière colonne, on voit que, même en prenant l'arc ρe égal à 25°, l'évaluation approchée ne donnerait qu'une erreur équivalente à moins de $\frac{12}{1000}$ de la lumière totale contenue dans la division homochromatique à laquelle cet arc appartiendrait. Supposons qu'il dût appartenir à la division violette de Newton, et cherchons l'épaisseur e, qui lui donnerait cette valeur limite de 25°. Nous l'obtiendrons en divisant 25 par la valeur de l'arc ρ_u pour un millimètre, que nous avons trouvée être 40°,88445, dans le tableau de la page 296. Le quotient donne $e = 0^{\text{mm}},6115$. Conséquemment, si nous calculons F_e par son expression approchée $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$ pour des épaisseurs qui n'excèdent pas $0^{\text{mm}},6$, l'erreur qui en résultera sur l'appréciation de la portion de la division violette qui entre dans F_e, sera au plus égale, ou inférieure, à $\frac{1}{100}$ de la totalité de cette lumière que contient le faisceau transmis ; et l'erreur analogue sera graduellement moindre, à cette même épaisseur, pour toutes les autres nuances homochromatiques moins réfrangibles que

celle-là, puisque l'arc ρe qui leur appartiendra aura une amplitude moindre. Quant à la division terminale qui s'étend depuis le violet extrême de Newton jusqu'à la raie H, l'erreur de l'approximation pour la même limite d'épaisseur, quoiqu'un peu plus forte, serait encore seulement les $\frac{18}{1000}$ de la lumière qui s'y trouve comprise, comme on peut le constater par la valeur de $\rho_{u'}$ donnée dans le même tableau. Mais l'intensité propre de cette lumière est tellement faible, qu'une pareille fraction en serait toujours négligeable dans les expériences que je me propose de considérer. Admettant donc que des erreurs aussi restreintes n'auront qu'une influence insensible dans les circonstances où l'on observe les teintes des images résultantes, toutes les considérations physiques que nous établirons en calculant les valeurs de F_e par l'expression approchée $\frac{I\rho^2e^2}{R^2}$ seront légitimement applicables aux épaisseurs de cristal de roche qui n'excéderont pas $0^{mm},6$; et elles le seront plus sûrement encore à toutes les épaisseurs moindres que cette limite auxquelles il nous sera possible d'étendre les observations (*).

(*) Lorsqu'on borne l'évaluation des éléments de F_e aux termes dépendants du carré de l'épaisseur e, comme nous le faisons ici, on peut aisément comprendre dans son expression les termes de cet ordre, qui proviennent de l'amplitude des divisions homochromatiques. Pour apprécier leur influence, je reprends l'expression exacte des éléments de F_e, qui, dans la situation attribuée ici au prisme analyseur, est généralement

$$F_e = \frac{1}{2} I \left[1 - \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e} \cos 2\rho e \right].$$

Je remplace $\cos 2\rho e$ par son équivalent $1 - 2\sin^2 \rho e$, ce qui donne

$$F_e = \frac{1}{2} I \left[1 - \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e} + 2 \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e} \sin^2 \rho e \right].$$

21. Ceci reconnu, je vais évaluer numériquement ces valeurs de F_e pour les neuf divisions homochromatiques spéci-

---

Maintenant, si l'on développe sin $\rho' e$ en série, suivant les puissances du petit arc $\rho' e$, on a :

$$\sin \rho' e = \frac{\rho' e}{R} - \frac{1}{6}\frac{\rho'^3 e^3}{R^3} + \frac{1}{120}\frac{\rho'^5 e^5}{R^5} \dots \text{etc.},$$

d'où l'on tire

$$R\frac{\sin \rho' e}{\rho' e} = 1 - \frac{1}{6}\frac{\rho'^2 e^2}{R^2} + \frac{1}{120}\frac{\rho'^4 e^4}{R^4} \dots \text{etc.}$$

Pour l'évaluation approchée à laquelle nous nous bornons, il faudra négliger, dans le second membre, tous les termes qui contiennent des puissances de e supérieures à e^2; et l'on voit que le rapport $\frac{R \sin \rho' e}{\rho' e}$ ne diffère de l'unité que par une quantité de cet ordre. Or, dans ces mêmes limites d'approximation, sin $\rho^2 e$ est exprimé par $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$. Étant ainsi déjà lui-même de l'ordre e^2, il faudra remplacer $\frac{R \sin \rho' e}{\rho' e}$ par l'unité dans le facteur qui le multiplie. Alors, en substituant dans l'expression exacte ces valeurs restreintes, on a finalement

$$F_e = I\left[\frac{\rho^2 e^2}{R^2} + \frac{1}{12}\frac{\rho'^2 e^2}{R^2}\right],$$

ce qui équivaut à

$$F_e = I\frac{\rho^2 e^2}{R^2}\left[1 + \frac{1}{12}\left(\frac{\rho'}{\rho}\right)^2\right].$$

D'après les grandeurs relatives assignées, dans le tableau de la page 296, aux arcs $\rho' \rho'$, qui appartiennent à une même division homochromatique, le rapport $\frac{1}{12}\left(\frac{\rho'}{\rho}\right)$ sera toujours une très-petite fraction. Sa plus grande valeur a lieu pour les divisions rouge, verte et violette du spectre newtonien, auxquelles elle est commune. Et pour celles-là même elle s'élève seulement à 0,0020478. L'influence de ce terme ne ferait donc qu'accroître, dans une proportion pareille, la quantité de lumière $\frac{I \rho^2 e^2}{R^2}$ que chaque

fiées dans le tableau de la page 296. Je conserverai d'abord au facteur commun $\frac{e^2}{R^2}$ sa forme littérale; puis je compléterai l'évaluation, en effectuant la division par R^2. J'obtiens ainsi les résultats suivants, où la nature de chaque division homochromatique, successivement considérée, est désignée par les indices supérieurs (r'), (r), (o).... (u), (u').

Division terminale rouge.....		$F_e^{(r')} = I_{r'} \frac{e^2}{R^2} . 270,116 = I_{r'} e^2 . 0,082282$
Spectre de Newton.	Rouge....	$F_e^{(r)} = I_r \frac{e^2}{R^2} . 360,392 = I_r e^2 . 0,109782$
	Orangé....	$F_e^{(o)} = I_o \frac{e^2}{R^2} . 457,594 = I_o e^2 . 0,139391$
	Jaune....	$F_e^{(j)} = I_j \frac{e^2}{R^2} . 575,705 = I_j e^2 . 0,175370$
	Vert.....	$F_e^{(v)} = I_v \frac{e^2}{R^2} . 776,152 = I_v e^2 . 0,236429$
	Bleu.....	$F_e^{(b)} = I_b \frac{e^2}{R^2} . 1043,820 = I_b e^2 . 0,317966$
	Indigo....	$F_e^{(i)} = I_i \frac{e^2}{R^2} . 1305,180 = I_i e^2 . 0,397580$
	Violet....	$F_e^{(u)} = I_u \frac{e^2}{R^2} . 1671,540 = I_u e^2 . 0,509180$
Division terminale violette...		$F_e^{(u')} = I_{u'} \frac{e^2}{R^2} . 2081,001 = I_{u'} e^2 . 0,633909.$

---

division fournit à l'image totale, quand on l'évalue sans en tenir compte; et comme toutes ces quantités sont des fractions de 1, l'effet d'une telle modification n'y serait pas sensible. C'est pourquoi je me suis dispensé d'avoir égard à ce terme, dans les évaluations numériques rapportées plus loin. Je me bornerai à faire remarquer qu'étant lui-même proportionnel à e^2, il laisse toujours ce facteur commun à tous les éléments de l'image; ce qui maintient l'exactitude des trois propositions établies en le négligeant.

22. La seule inspection de ce tableau suffit pour établir directement les trois propositions suivantes :

1° La quantité totale de lumière contenue dans l'image résultante E, d'abord insensible aux épaisseurs extrêmement petites, croît proportionnellement au carré de ces épaisseurs.

2° Tant que l'épaisseur e reste comprise dans les limites de petitesse où les expressions ici rapportées sont applicables, la teinte de l'image résultante E a une nuance constante.

3° Lorsque la lumière totale transmise à travers la plaque est blanche, cette teinte est un bleu pâle, très-mêlé de blanc.

23. La première proposition résulte de la présence du facteur e^2 dans l'expression de chaque portion des lumières homochromatiques qui entrent dans E. Elles sont toutes nulles en même temps que e, et croissent proportionnellement à e^2. En outre, tant par la petitesse convenue de e^2, toujours moindre que 0,36, que par le caractère fractionnaire des facteurs numériques qui lui sont associés, l'image résultante E aura toujours une intensité très-faible, comparativement à la quantité totale de lumière transmise à travers la plaque considérée; et cette intensité croîtra rapidement avec l'épaisseur. Par inverse, l'image résultante ordinaire O, qui est toujours complémentaire de E, suivra des phases d'intensité continuellement décroissantes, mais proportionnellement beaucoup moins rapides. Tout cela est exactement conforme à l'expérience.

24. Cet accroissement progressif de l'intensité de l'image E peut s'établir théoriquement fort au delà des limites d'épaisseur auxquelles les expériences précédentes sont restreintes. Pour cela, considérant tout le spectre visible compris entre

les raies extrêmes B, H de Fraunhoffer, je le suppose partagé en divisions homochromatiques assez nombreuses, et individuellement assez restreintes, pour que, dans tous les degrés d'épaisseur auxquels je me propose d'appliquer le calcul, on puisse évaluer, par le simple rapport du carré du sinus, les quantités respectives de lumière propre que chacune d'elles fournit à l'image E. Cette supposition est toujours réalisable, pourvu que l'on multiplie suffisamment les divisions du spectre. En l'admettant, et faisant toujours coïncider la section principale du prisme analyseur avec le plan de polarisation primitif, les divers éléments chromatiques qui composent l'image E auront généralement leurs intensités individuelles représentées par des expressions de cette forme :

$$F_e = i \sin^2 \rho e.$$

Je désigne les intensités de ces nouvelles subdivisions par la lettre i, pour les distinguer de celles qui appartiennent aux divisions plus étendues du spectre newtonien, auxquelles on ne pourra les supposer égales que lorsque l'épaisseur e n'excédera pas 3 millimètres. Lorsqu'on voudra obtenir les valeurs particulières de F_e, on remplacera l'arc ρe par la déviation moyenne actuellement propre à la subdivision chromatique que l'on voudra considérer, et l'on aura ainsi la fraction de sa lumière totale i, qui entre dans l'image extraordinaire E.

Or, il est visible que chacun des facteurs $\sin^2 \rho e$ croîtra progressivement avec l'arc ρe, tant que cet arc n'aura pas atteint 90°. Ainsi, jusque-là, la lumière de la division chromatique à laquelle il appartient entrera dans l'image E en quantité continuellement croissante. Dans le système de rotations que nous considérons ici, les grandeurs respectives

des arcs ρ augmentant avec la réfrangibilité, ce cas limite arrivera, pour la division terminale violette, avant toutes les autres ; et, d'après le tableau de la page 296, il aura lieu, relativement à elle, quand l'épaisseur e sera d'environ 2 millimètres, ou, rigoureusement, $1^{mm},9729$. Conséquemment, depuis l'épaisseur $e = o$ jusqu'à cette limite, tous les éléments chromatiques de l'image extraordinaire E croîtront progressivement en intensité, sans aucune exception.

Mais l'accroissement *total* de l'image E se continuera encore, *en somme,* fort au delà de ce terme. Car lorsqu'un arc a dépassé 90°, le carré de son sinus diminue d'abord avec beaucoup de lenteur; et la diminution qui en résultera dans la quantité de lumière de la division terminale violette qui entre dans E, se trouvera encore, pendant longtemps, plus que compensée par la continuité d'accroissement de toutes les autres, fournies par les divisions moins réfrangibles. Supposons, par exemple, $e = 2^{mm},5$. Alors, d'après le tableau de la page 296, l'arc $\rho_{u}e$, relatif à la division violette terminale, deviendra $90° + 24°27'$; et tous les éléments chromatiques de E, provenant des autres divisions, seront encore dans les périodes croissantes de leurs intensités, à l'exception de la division violette immédiatement précédente, où cette intensité sera devenue stationnaire dans son maximum. Mais le carré du sinus de $\rho_{u}e$ sera encore égal à 0,83069; de sorte que la quantité de lumière violette terminale qui aura abandonné E sera fort petite, tandis que celles qui proviennent de toutes les autres auront continué de s'accroître. Il est donc manifeste que l'intensité *totale* de l'image E se trouvera alors plus grande qu'elle ne l'était à l'épaisseur de 2 millimètres. C'est en effet ce que l'observation confirme avec

évidence, comme on le verra par les expériences que je rapporterai. Cela est d'autant plus aisé à constater, que, jusque-là, la teinte résultante de l'image E éprouve peu de changements, n'offrant à l'œil qu'un bleu pâle de plus en plus abondant en lumière blanche. On peut même présumer que l'accroissement *total* de l'intensité de l'image E se continue encore à des épaisseurs notablement plus grandes que celle que j'ai prise ici en dernier lieu comme exemple. Mais les modifications sensibles qui surviennent alors dans sa coloration, établissent les conditions de remplacement entre des quantités de lumière ayant des qualités colorifiques très-diverses, ce qui ne permet plus de comparer ses intensités successives avec autant de sûreté et d'évidence.

25. J'arrive à la seconde des propositions énoncées plus haut. Pour en concevoir la vérité, il faut considérer que, entre les limites d'intensités où la coloration des images résultantes O, E, peut être perçue, c'est-à-dire, lorsque la quantité totale des diverses lumières qui s'y trouvent rassemblées n'est pas trop faible pour que l'œil puisse discerner le caractère de sa nuance, et n'est pas non plus si considérable qu'elle l'éblouisse par son éclat, la nuance observée dépend seulement du rapport qu'ont entre elles les diverses portions de lumière simple qui composent l'image totale. De sorte que si les intensités propres de tous ces éléments augmentent ou diminuent dans un même rapport, leur nature restant constante, la nuance que leur ensemble présente à l'œil est toujours la même. Cette identité aura donc lieu ici pour tous les états de l'image E, qui pourront résulter des expressions des intensités individuelles bornées aux termes

de l'ordre $\frac{e^2}{R^2}$, puisque, dans les limites d'épaisseur où elles sont applicables, tous les éléments chromatiques de cette image varieront simultanément d'intensités dans un même rapport, dépendant du seul facteur variable e^2 qui leur est commun. Mais la même condition de constance n'aura pas lieu pour l'image résultante ordinaire O, dont les éléments chromatiques, évalués pour les mêmes limites d'épaisseur, auront leurs intensités individuelles exprimées généralement par $i\left\{1-\frac{\rho^2 e^2}{R^2}\right\}$. Il pourra donc arriver que, dans le changement progressif des épaisseurs, entre les limites ici fixées, l'œil y constate des changements de nuance dont les correspondants ne seraient pas perceptibles dans l'image E. L'expérience confirme encore minutieusement ces indications, comme on le verra dans la série des observations de ce genre que je rapporterai ; et nous irons même dans un moment jusqu'à découvrir, par les expressions analytiques précédentes, de quelle nature devront être ces premières traces de coloration de l'image O, aussi bien que de E, qui en est complémentaire.

26. Lorsque l'épaisseur e est assez accrue pour que les intensités individuelles des éléments chromatiques qui entrent dans l'image E ne puissent plus être évaluées avec une suffisante exactitude par les seuls termes de l'ordre $\frac{e^2}{R^2}$, leurs rapports deviennent variables. Ainsi, la constance de teinte que cette image présentait d'abord doit se trouver progressivement altérée. C'est ce que l'expérience confirme; mais elle montre aussi que cette mutation s'opère par des phases très-lentes. Pour en voir la raison mathématique, concevons,

comme précédemment, que l'on ait partagé tout le spectre visible en divisions chromatiques assez multipliées pour que les quantités de lumière propre que chacune d'elles fournit à l'image E puissent être évaluées par le simple rapport du carré du sinus de leur arc de déviation moyen. Alors les intensités propres de ces éléments auront leurs expressions de la forme

$$F_e = i \sin^2 \rho e.$$

Ne supposons plus l'arc ρe extrêmement petit; mais limitons-le seulement à être moindre que le rayon R du cercle plié en arc. Alors son sinus pourra être développé en une série convergente, qui sera :

$$\sin \rho e = \frac{\rho e}{R} - \frac{1}{6}\frac{\rho^3 e^3}{R^3} + \frac{1}{120}\frac{\rho^5 e^5}{R^5} \ldots \text{etc.}$$

Et de là, en élevant les deux membres au carré, on tirera :

$$\sin^2 \rho e = \frac{\rho^2 e^2}{R^2} - \frac{1}{3}\frac{\rho^4 e^4}{R^4} + \frac{2}{45}\frac{\rho^6 e^6}{R^6} \ldots \text{etc.}$$

Tant que l'arc ρe n'excède pas 25°, nous avons vu que le premier terme $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$ de cette série donne, à lui seul, la valeur de $\sin^2 \rho e$, avec une erreur moindre que 0,012. Si l'on réitère une pareille épreuve en employant les deux premiers termes, on trouvera qu'ils reproduisent $\sin^2 \rho e$, avec une erreur encore moindre, même lorsque l'arc ρe atteint 45°. Bornons-le à cette limite d'amplitude. D'après le tableau de la page 296, elle aura lieu pour la division terminale violette, lorsque l'épaisseur e sera tant soit peu moindre que 1 millimètre; et les deux premiers termes de la série suffiront aussi alors, à plus forte raison, pour toutes les autres divisions chromatiques moins réfrangibles que celle-là. Les intensités des éléments chroma-

tiques de l'image E, évaluées par cette nouvelle expression approximative, auront donc la forme suivante :

$$F_e = i\frac{\rho^2 e^2}{R^2}\left[1 - \frac{1}{3}\frac{\rho^2 e^2}{R^2}\right].$$

Elles contiendront ainsi encore le facteur commun $\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$, qui, s'il existait seul, laisserait à l'image E une teinte constante. Mais cette constance sera maintenant altérée par la présence du terme $-\frac{1}{3}\frac{\rho^2 e^2}{R^2}$, qui reste associé à l'unité dans le multiplicateur de i; et le degré de l'altération dépendra de la valeur numérique de ce terme pour chaque division chromatique du spectre. Par exemple, si l'on suppose l'arc ρ^e égal à 45°, on le trouvera égal à 0,205617, et il atteindra cette valeur pour la division terminale violette du spectre newtonien complété, lorsqu'on supposera e égal à 1 millimètre. Mais alors ce même terme se réduira à 0,16972 pour la division violette précédente, et il s'affaiblira ainsi de plus en plus pour toutes les autres moins réfrangibles. Conséquemment, depuis l'épaisseur $0^{mm},6$, où les termes en $\frac{e^2}{R^2}$ suffisent encore, et donnent à E une teinte sensiblement la même qu'aux épaisseurs moindres, jusqu'à l'épaisseur actuelle 1 millimètre, la teinte de l'image E variera progressivement par des phases très-lentes, qui la modifieront dans ses éléments les plus réfrangibles plus que dans les autres.

Pour savoir dans quel sens cette mutation s'opérera, il n'y a qu'à considérer l'expression exacte des éléments de E par le carré du sinus de ρe, sans la développer. On voit alors que leur intensité individuelle croîtra continûment pour toutes les divisions chromatiques, jusqu'à ce que l'arc ρe, propre à cha-

cune d'elles, devienne égal à 90°; ce qui arrivera pour la division terminale violette, avant toutes les autres, vers 2 millimètres d'épaisseur. La mutation totale qui s'opérera dans la teinte de l'image résultante E, dépendra des variations ainsi continuellement produites dans les rapports des intensités de ses éléments. C'est ce que nous aurons tout à l'heure l'occasion d'examiner plus en détail.

27. Reprenons maintenant le cas des épaisseurs restreintes, où les intensités des éléments chromatiques de E peuvent se calculer avec une approximation suffisante par les seuls termes en $\frac{e^2}{R^2}$; puis, cherchons à découvrir quelle devra être alors la nature de la teinte constante que cette image présentera, en supposant toujours que la lumière totale transmise à travers la plaque est blanche. Ceci est le sujet de la troisième proposition énoncée plus haut.

Pour y parvenir, je prends les expressions de tous les éléments chromatiques de E, trouvées dans la page 301, pour les divisions du spectre newtonien, que la petitesse supposée de l'épaisseur e permet ici d'employer. Puis, formant la somme de tous ces éléments, je décompose leurs intensités individuelles en deux parties, dont la première ait pour facteur le coefficient numérique de $F_e^{(r')}$, le plus petit de tous. Cela donne à cette somme la forme suivante (*) :

(*) Au premier coup d'œil, on pourrait penser qu'il conviendrait de ne pas comprendre dans cet ensemble les quantités de lumière rouge et violette contenues dans les divisions terminales du spectre de Fraunhoffer, que j'ai désignées ici par les indices r' et u', parce qu'elles pourraient bien ne pas exister, ou être insensibles, dans la lumière blanche venue des nuées.

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'} \right] e^2 . 0{,}082282$$
$$+ \left[I_r . 0{,}027500 + I_o . 0{,}057109 + I_j . 0{,}093088 + I_v . 0{,}154147 + I_b . 0{,}235686 + I_i . 0{,}315298 + I_u . 0{,}426908 + I_{u'} . 0{,}551627 \right] e^2$$

L'ensemble des éléments contenus dans la première ligne forme évidemment un blanc parfait, dont l'intensité sera très-faible entre les limites d'épaisseurs restreintes auxquelles cette expression est bornée. La coloration ne pourra donc provenir que de l'assemblage de ceux dont la seconde ligne exprime les proportions inégales prises dans l'intensité totale de chacun d'eux. Pour apprécier plus aisément l'effet de leur ensemble, je les décompose encore individuellement en deux parties, dont la première ait pour facteur 0,027500, résidu du coefficient numérique de I_r; et alors tout le système à considérer s'écrit ainsi :

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'} \right] e^2 . 0{,}082282$$
$$+ \left[\qquad I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'} \right] e^2 . 0{,}027500$$
$$+ \left[\qquad I_o . 0{,}029609 + I_j . 0{,}065588 + I_v . 0{,}126647 + I_b . 0{,}208184 + I_i . 0{,}287798 + I_u . 0{,}399408 + I_{u'} . 0{,}521127 \right] e^2$$

La première ligne exprimera du blanc comme précédemment. L'ensemble des quantités réunies dans la deuxième ligne ne différera du blanc qu'en ce qu'il y manquera, sous la parenthèse, le coefficient $I_{r'}$, propre à la division rouge terminale qui excède le spectre de Newton. Mais ce rouge est très-sombre; et dans les expériences faites avec la lumière des nuées réfléchie par une glace noire, comme sont celles

---

Mais, outre que leur présence y est très-probable, puisque cette lumière n'est autre que celle du soleil, disséminée par une multitude de réflexions sur les globules de vapeur, l'indétermination attribuée ici aux lettres $I_{r'}$, $I_{u'}$, qui représentent les intensités respectives de ces portions extrêmes, approprie le raisonnement à toutes les valeurs que l'on voudrait leur supposer dans la lumière blanche totale sur laquelle on opère.

auxquelles je me propose de comparer ces formules, son existence ne devient manifeste que dans les cas particuliers d'épaisseur, où son arc de déviation lui donne une influence spéciale, soit sur l'une, soit sur l'autre image. On peut donc légitimement admettre ici que l'absence de ce terme $I_{r'}$ parmi ceux de la seconde ligne, n'altérera pas sensiblement la blancheur que leur ensemble exprimerait s'il s'y trouvait associé, ou tout au plus que cette absence pourra les faire incliner vers un blanc à peine bleuâtre.

Il reste donc à considérer les termes contenus dans la troisième ligne. Or, quoique la sensation complexe produite par leur ensemble ne puisse pas être appréciée par un calcul rigoureux, il est manifeste que les éléments les moins réfrangibles ne pourront pas y dominer, à cause de la faiblesse relative des coefficients numériques qui les affectent. Et, d'une autre part, les plus réfrangibles de ces éléments, c'est-à-dire les violets, n'y auront pas non plus une influence exclusive, puisque leur effet propre se combinera avec celui des éléments précédents. On peut donc prévoir qu'un tel ensemble produira la sensation dominante d'un bleu imparfait; et cet aperçu est conforme au jugement unanime de peintres très-habiles auxquels je l'ai soumis. Alors ce bleu, se trouvant associé aux quantités de lumière blanche exprimées par les deux lignes précédentes, devra produire sur l'œil l'effet d'un bleu blanchâtre ou d'un blanc bleuâtre, dont la coloration apparente sera encore rendue indécise par la faiblesse de l'intensité totale de l'image, provenant de la petitesse de tous ses coefficients numériques et de la fraction e^2 qui les affecte comme facteur commun. Tout cela est exactement conforme à l'observation. Car, dans cet état naissant des images E,

elle n'y fait apercevoir en somme qu'une lueur d'un bleu pâle à peine coloré, dont l'intensité augmente rapidement avec l'épaisseur de la plaque, sans qu'on puisse discerner dans sa nuance de variations sensibles.

28. La nature des teintes résultantes de l'image E peut s'apprécier par les expressions en sinus pour des épaisseurs notablement plus fortes que celles auxquelles s'appliquent les évaluations approchées dont nous venons de faire usage. Pour cela, il faut les décomposer analytiquement d'une manière analogue. Par exemple, je considère d'abord les deux divisions rouges, qui appartiennent aux rayons dont les vitesses de rotation ρ sont les moindres de toutes; et je suppose seulement l'épaisseur e assez restreinte pour que l'expression en sinus puisse embrasser avec suffisamment d'exactitude les divisions newtoniennes. Les quantités respectives de lumière provenant de ces deux divisions, qui entreront dans l'image E, auront les expressions suivantes :

$$F_e^{(r')} = I_{r'} \sin^2 \rho_{r'} e \,; \qquad F_e^{(r)} = I_r \sin^2 \rho_r e.$$

La seconde peut être mise sous cette forme :

$$F_e^{(r)} = I_r [\sin^2 \rho_{r'} e + \sin^2 \rho_r e - \sin^2 \rho_{r'} e] = I_r \sin^2 \rho_{r'} e + I_r \sin \{(\rho_r - \rho_{r'}) e\} \sin \{(\rho_r + \rho_{r'}) e\}.$$

Je fais subir à toutes les suivantes une décomposition pareille, qui isole, dans chacune d'elles, une portion multipliée par $\sin^2 \rho_{r'} e$. Puis, je rassemble tous les éléments chromatiques de l'image E, ainsi transformés. Cela donne en somme :

$$[\mathrm{I}_{r'} + \mathrm{I}_r + \mathrm{I}_o + \mathrm{I}_j + \mathrm{I}_v + \mathrm{I}_b + \mathrm{I}_i + \mathrm{I}_u + \mathrm{I}_{u'}]\sin^2\rho_{r'}e$$
$$+ \mathrm{I}_r \sin\{(\rho_r - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_r + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_o \sin\{(\rho_o - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_o + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_j \sin\{(\rho_j - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_j + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_v \sin\{(\rho_v - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_v + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_b \sin\{(\rho_b - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_b + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_i \sin\{(\rho_i - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_i + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_u \sin\{(\rho_u - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_u + \rho_{r'})e\}$$
$$+ \mathrm{I}_{u'} \sin\{(\rho_{u'} - \rho_{r'})e\}\sin\{(\rho_{u'} + \rho_{r'})e\}$$

29. Examinons maintenant la nature de la teinte qui devra résulter de cet ensemble. La première ligne est la somme de tous les éléments I, multipliés par un même facteur positif, toujours moindre que l'unité. Elle formera donc à elle seule un blanc parfait, auquel s'associeront tous les termes suivants, qui contiennent chacun deux facteurs variables avec l'épaisseur. Le premier de ces facteurs sera toujours individuellement positif, dans le système de rotations que nous considérons, parce que les arcs ρ y croissent continûment avec la réfrangibilité; et je rendrai les seconds également positifs, en limitant ici la discussion aux cas où l'arc $(\rho_{u'} + \rho_{r'})e$, le plus grand de ceux qui s'y trouvent sous le signe sinus, n'excède pas 180°. Cela limitera l'épaisseur e à un peu moins de 3 millimètres, ou plus exactement $2^{mm},90$ (*). Or, jusque-là, le caractère dominant de la teinte résultante peut être prévu par le genre de considération que nous avons tout à l'heure appliqué aux très-petites épaisseurs.

(*) Sa valeur rigoureuse est $2^{mm},90074$. Je l'ai employée telle dans les évaluations calculées. Mais, pour abréger les énoncés où je la rapporte, je l'y ai bornée à sa partie principale $2^{mm},90$.

Pour cela, il suffira évidemment de discuter l'effet propre des termes variables qui, *dans ces circonstances,* ne font que *s'ajouter* au blanc de la première ligne. Restreignons-les d'abord au cas où l'arc $(\rho_{u'}+\rho_{r'})\,e$, le plus grand de ses analogues, n'excède pas $90°$; ce qui limite l'épaisseur e à $1^{mm},45$. Jusqu'alors tous les sinus qui les composent comme facteurs sont dans des périodes d'accroissement individuel. Ainsi, jusque-là, toutes les quantités de lumières simples, exprimées par ces différents termes, seront des fractions de chaque division chromatique, dont les valeurs individuelles croîtront continûment avec l'épaisseur, d'autant plus que la réfrangibilité sera plus grande, mais en restant toujours très-faibles pour les divisions les moins réfrangibles. Car même lorsque $e = 1^{mm},45$, ce qui rend l'arc $(\rho_{u'}+\rho_{r'})\,e$ égal à $90°$, le coefficient de $I_{u'}$ devient 0,673346, tandis que celui de I_{r} n'est encore que 0,050367; et tous ceux des autres termes intermédiaires auront des valeurs intermédiaires entre celles-là. Pour cette même épaisseur, la proportion de blanc de la première ligne, indiquée par son coefficient propre $\sin^2\rho_{r'}e$, est 0,163329, c'est-à-dire, qu'elle est presque $\frac{1}{6}$ de la quantité totale de lumière transmise à travers la plaque considérée. Si l'on applique à cet ensemble d'éléments chromatiques le raisonnement que nous avons tout à l'heure employé pour des épaisseurs moindres, on en conclura avec une égale évidence que la teinte résultante de l'image E doit encore être ici un bleu faible mêlé de blanc, ou un blanc bleuâtre, ce qui est conforme à l'observation.

30. Mais cette teinte se soutient encore presque identique pour l'œil à des épaisseurs plus grandes. Car la simultanéité d'accroissement progressif des éléments chromatiques, qui la

détermine, ne s'arrête pas à celle que nous venons de considérer. Le coefficient de $I_{u'}$ continue encore à croître après que l'arc $(\rho_{u'}+\rho_{r'})e$ a atteint 90°; et, pour connaître la borne de son accroissement, il faut l'envisager dans l'ensemble de ses deux facteurs. On y parvient très-aisément en lui rendant sa première forme

$$\sin^2\rho_{u'}e - \sin^2\rho_{r'}e.$$

Alors, en faisant varier l'épaisseur e sous les signes de sinus, on a, pour condition du maximum de cette différence :

$$0 = \rho_{u'}\sin^2\rho_{u'}e - \rho_{r'}\sin^2\rho_{r'}e.$$

Et, en résolvant cette égalité par des essais numériques, on trouve qu'elle est très-approximativement satisfaite par l'épaisseur $e = 1^{mm},777$. Alors le coefficient de $I_{r'}$, propre à la division terminale violette, devient 0,737782. Celui de I_r, propre à la division rouge de Newton, devient 0,070327 ; et $\sin^2\rho_{r'}e$, qui mesure la proportion de blanc parfait associée aux autres sommes d'éléments colorifiques, est 0,238085. Cette quantité de lumière blanche s'élève ainsi presque au quart, ou plus exactement aux $\frac{5}{21}$ du faisceau total transmis à travers la plaque considérée. La teinte résultante de l'image E devra donc être encore un bleu plus blanchâtre et plus abondant en lumière que précédemment, et c'est aussi ce que l'observation confirme.

31. La même apparence, accompagnée d'un accroissement progressif de blancheur, se continuera encore un peu au delà de l'épaisseur que nous venons de considérer. Car, après que le coefficient de $I_{r'}$ aura atteint son maximum, il décroîtra d'abord très-lentement, tandis que tous les autres continueront d'augmenter. Par exemple, à l'épaisseur de 2 millimètres,

ce coefficient aura encore pour valeur 0,705299, ce qui ne produira, dans la quantité de lumière violette terminale, qu'une diminution à peine sensible, ou même tout à fait insensible, à cause de sa faiblesse propre; au lieu que la valeur de $\sin^2 \rho_{r''} e$, qui mesure la proportion de blanc associée aux éléments colorifiques de l'image E, sera devenue 0,294565, ou presque égale à $\frac{3}{10}$ du faisceau total transmis à travers la plaque. Or, en effet, l'accroissement de blancheur de l'image E, à ces degrés d'épaisseur, est très-manifeste, sans que l'on aperçoive un changement perceptible pour l'œil dans le caractère bleuâtre qui y domine.

32. Mais ce caractère commencera à se modifier quand on atteindra l'épaisseur $2^{mm},90$ qui rend nul le coefficient de $I_{r''}$, et l'altération deviendra progressivement de plus en plus sensible à des épaisseurs plus grandes; car, à cette limite $2^{mm}90$, où la portion de violet terminale qui s'ajoutait au blanc de notre première ligne devient nulle, toutes ses analogues, appartenant aux divisions moins réfrangibles, ont marché vers leur maximum d'accroissement. Les unes, depuis le rouge jusqu'au jaune inclusivement, n'ont pas encore atteint cette phase; les autres, à commencer par le vert, l'ont dépassée. De là résulte une teinte composée, dans laquelle le jaune et le bleu, réunis au vert du spectre, produisent une apparence dominante de vert. En même temps, la proportion de blanc exprimée par notre première ligne s'élève à 0,546605, ou plus de $\frac{6}{11}$ de toute la lumière transmise à travers la plaque. Un tel mélange doit donc imprimer à l'œil la sensation d'un blanc non plus bleuâtre, mais verdâtre, et à peine coloré. C'est en effet ce que l'observation donne pour cette épaisseur.

33. Afin que l'on puisse bien apprécier la justesse de ces

prévisions, je joins ici un tableau analogue à celui de la page 301, dans lequel toutes les quantités de lumière provenant des diverses divisions chromatiques dont l'image E se compose, sont calculées par l'expression en sinus pour les deux épaisseurs $1^{mm},777$ et $2^{mm},90074$, que nous venons de considérer spécialement. J'en ai déduit, par complément, les quantités correspondantes qui composent l'image ordinaire O, dont nous discuterons aussi dans un moment les caractères; et j'ai joint à ces indications les valeurs des arcs de rotation moyens de chaque division chromatique aux deux épaisseurs considérées.

DÉSIGNATION DES DIVISIONS CHROMATIQUES.	ÉLÉMENTS CHROMATIQUES des deux images pour l'épaisseur $e = 1^{mm},777$.			ÉLÉMENTS CHROMATIQUES des deux images pour l'épaisseur $e = 2^{mm},90074$.		
	Arcs de rotation moyens ρe	Image ordinaire O	Image extraordinaire E	Arcs de rotation moyens ρe	Image ordinaire O	Image extraordinaire E
Division terminale rouge...	29° 12′ 19″	$I_{r'}.0,761915$	$I_{r'}.0,238085$	47° 40′ 27″	$I_{r'}.0,453395$	$I_{r'}.0,546605$
Rouge..	33 44 5	$I_{r}.0,691588$	$I_{r}.0,308412$	55 4 34	$I_{r}.0,327742$	$I_{r}.0,672258$
Spectre de Newton. Orangé.	38 0 45	$I_{o}.0,620749$	$I_{o}.0,379251$	62 3 4	$I_{o}.0,219664$	$I_{o}.0,780336$
Spectre de Newton. Jaune...	42 38 14	$I_{j}.0,541192$	$I_{j}.0,458808$	69 35 59	$I_{j}.0,121506$	$I_{j}.0,878494$
Spectre de Newton. Vert....	49 30 23	$I_{v}.0,421673$	$I_{v}.0,578327$	80 48 47	$I_{v}.0,025490$	$I_{v}.0,974510$
Spectre de Newton. Bleu....	57 24 42	$I_{b}.0,290089$	$I_{b}.0,709911$	93 43 3	$I_{b}.0,004204$	$I_{b}.0,995796$
Spectre de Newton. Indigo...	64 11 53	$I_{i}.0,189453$	$I_{i}.0,810547$	104 47 44	$I_{i}.0,065214$	$I_{i}.0,934786$
Spectre de Newton. Violet...	72 39 6	$I_{u}.0,088911$	$I_{u}.0,911089$	118 35 42	$I_{u}.0,229073$	$I_{u}.0,770927$
Division terminale violette.	81 3 47	$I_{u'}.0,024133$	$I_{u'}.0,975867$	132 19 33	$I_{u'}.0,453395$	$I_{u'}.0,546605$

34. Nous pouvons maintenant réaliser sur ces nombres les opérations que nous avons simulées sur l'expression analytique générale. Commençant donc par l'épaisseur $1^{mm},777$, je rassemble pour elle tous les éléments de l'image extraordinaire E, en décomposant chacun en deux parties, dont l'une ait le même coefficient numérique que $I_{r'}$, l'excédant restant à part. J'obtiens ainsi :

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]0{,}238085$$
$$+\left[I_r\,.\,0{,}070327+I_o\,.\,0{,}141166+I_j\,.\,0{,}220723+I_v\,.\,0{,}340242+I_b\,.\,0{,}471826+I_i\,.\,0{,}572462+I_u\,.\,0{,}673004+I_{u'}\,.\,0{,}737782\right].$$

C'est la même décomposition que nous avons effectuée sur la formule analytique, et elle justifie toutes nos prévisions. Mais on peut en appliquer une nouvelle aux nombres de la deuxième ligne, en isolant de chacun la portion qui est affectée d'un coefficient numérique égal à celui de $I_{r'}$, comme nous l'avons fait page 310, sur l'expression en e^2. Alors tout le système que nous aurons à considérer s'écrira comme il suit :

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]0{,}238085$$
$$+\left[I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]0{,}070327$$
$$+\left[I_o\,.\,0{,}070839+I_j\,.\,0{,}150396+I_v\,.\,0{,}269915+I_b\,.\,0{,}401499+I_i\,.\,0{,}502135+I_u\,.\,0{,}602677+I_{u'}\,.\,0{,}667455\right].$$

Appliquons à ces nombres le mode de raisonnement de la page 310. La première ligne exprime un blanc parfait. La deuxième exprime un blanc auquel il ne manque que la petite portion terminale de rouge sombre qui excède le spectre newtonien. Ce sera donc tout au plus un blanc à peine bleuâtre, si toutefois sa coloration est discernable, ce qui est fort douteux. Maintenant, dans la troisième ligne, ce sont les éléments les plus réfrangibles qui abondent en proportion croissante avec la réfrangibilité. Leur ensemble ne

pourra donc former encore qu'une nuance dominante de bleu, laquelle, associée au blanc des deux premières lignes, donnera encore à l'œil la sensation d'un blanc bleuâtre plus pâle et plus abondant en lumière que celui de la page 310, à cause de la quantité beaucoup plus considérable de lumière blanche qui s'y trouve mêlée. Tout cela est exactement conforme à l'observation pour cet ordre d'épaisseur, comme on le verra par la suite; et cela est aussi minutieusement reproduit par la règle de Newton, quand on l'applique à tout l'ensemble des éléments colorifiques que nous considérons ici. Elle indique même que la faible nuance de bleu résultant qui colore ici l'image E, sera moins franche et tendant un peu plus au verdâtre que dans les épaisseurs moindres, comme le doit faire en effet prévoir la proportion un peu plus grande de rayons verts qui se trouve ici dans notre troisième ligne, comparativement à celle de la page 310. Mais la différence est inappréciable à l'œil, à cause de la grande quantité de lumière blanche qui en éteint la sensation.

35. Je passe maintenant à l'épaisseur $2^{mm},90074$; et prenant dans le tableau de la page 317 les éléments numériques propres à l'image extraordinaire E, j'applique d'abord à leur ensemble le même mode de décomposition que nous avons effectué sur la formule analytique, ce qui les groupe comme il suit:

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]0{,}546605$$
$$+\left[\quad I_r.0{,}125653+I_o.0{,}233731+I_j.0{,}331889+I_v.0{,}427905+I_b.0{,}449191+I_i.0{,}388181+I_u.0{,}224322\right].$$

Je décompose maintenant la deuxième ligne, de manière à isoler, dans chaque terme, la portion de son coefficient numérique qui est égale à celui de I_r. Cela donne à tout le système la forme suivante:

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'}\right] 0{,}546605$$
$$+ \left[I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u\right] 0{,}125653$$
$$+ \left[I_o . 0{,}108068 + I_j . 0{,}206236 + I_v . 0{,}302252 + I_b . 0{,}323538 + I_i . 0{,}262528 + I_u . 0{,}098669\right].$$

Maintenant, la première ligne exprime un blanc parfait. La deuxième exprime une fraction commune de tous les éléments chromatiques qui composent le spectre de Newton, auxquels il manque seulement les deux divisions terminales extrêmes de Fraunhoffer. Leur ensemble composera donc encore un blanc sans coloration appréciable. Enfin, dans la troisième ligne, les portions présentes d'orangé et de jaune, se réunissant à celles de l'indigo et du bleu, formeront, pour l'œil, un vert qui se joindra à la portion de vert prismatique mesurée par le coefficient de I_v. Ainsi, en résultat, la nuance dominante verte de cette dernière ligne se trouvera associée dans l'ensemble de l'image à une quantité de blanc qui comprendra plus des deux tiers de toute la lumière transmise à travers la plaque. La teinte de cette image devra donc être un blanc verdâtre d'une coloration très-faible. C'est précisément ce que l'observation donne; et le passage de l'image extraordinaire E, du blanc bleuâtre au blanc verdâtre, s'opère à l'épaisseur même de $2^{mm},9$ ou 3 millimètres, en succédant à un blanc intermédiaire presque complet pour l'œil. Un accord si juste, dans une particularité de transition aussi délicate, me semble donner une confirmation très-satisfaisante des valeurs assignées aux arcs de rotation des différents rayons simples, dans le tableau de la page 296.

36. Les teintes de l'image ordinaire, propres aux limites d'épaisseur que nous venons de considérer, peuvent se prévoir par un mode de discussion semblable, dont les conséquences ne sont pas moins conformes à l'expérience. Je prends

d'abord le cas où l'épaisseur e est assez petite pour que les éléments de l'image extraordinaire E puissent être évalués avec une exactitude suffisante par les expressions approximatives

$$F_e = I \frac{\rho^2 e^2}{R^2}.$$

Alors, les éléments de l'image ordinaire O étant complémentaires de ceux-là, seront représentés avec le même degré d'approximation par l'expression générale

$$F_o = I \left[1 - \frac{\rho^2 e^2}{R^2} \right].$$

Les coefficients numériques de I seront ainsi d'autant plus faibles pour une même épaisseur, que l'arc ρ sera plus considérable. Conséquemment, le plus petit de tous appartiendra à la division terminale violette, pour laquelle ρ devient $\rho_{u'}$. D'après cette remarque, je mets les expressions de tous les éléments de F_o sous la forme générale

$$F = I \left[1 - \frac{\rho_{u'}^2 e^2}{R^2} + \frac{\rho_{u'}^2 e^2}{R^2} - \frac{\rho^2 e^2}{R^2} \right] = I \left[1 - \frac{\rho_{u'}^2 e^2}{R^2} \right] + I \left[\frac{\rho_{u'}^2 e^2}{R^2} - \frac{\rho_u^2 e^2}{R^2} \right].$$

Alors, prenant dans le tableau de la page 301 les diverses valeurs numériques des éléments de E, en fonction de e^2, je les réunis dans les deux lignes suivantes, qui contiennent la somme de tous les éléments chromatiques de l'image ordinaire O.

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I'_b + I_i + I_u + I_{u'} \right] \left[1 - e^2 . 0,633909 \right]$$
$$+ \left[I_{r'} . 0,551627 + I_r . 0,524127 + I_o . 0,494518 + I_j . 0,458539 + I_v . 0,397480 + I_b . 0,315943 + I_i . 0,236329 + I_u . 0,124729 \right] e^2$$

Maintenant, dans chaque terme de la deuxième ligne, j'isole la partie de son coefficient numérique qui est égale à 0,124729, coefficient numérique de I_u; et, après cette seconde décompo-

sition, tout l'ensemble des éléments chromatiques de l'image O se présente comme il suit :

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]\left[1-e^2.0,633909\right]$$
$$+\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u\right]e^2.0,124729$$
$$+\left[I_{r'}.0,426898+I_r.0,399396+I_o.0,369789+I_j.0,333810+I_v.0,273751+I_b.0,191214+I_i.0,111600\right]e^2.$$

La première ligne représente un blanc parfait. La deuxième ligne représente un blanc auquel manque le violet sombre contenu dans la division terminale de Fraunhoffer. Si l'absence de ce violet extrême est perceptible à l'œil, ce qui est fort peu à croire, l'ensemble résultant des autres éléments pourra tout au plus incliner vers un blanc jaunâtre. La coloration du système total dépendra donc presque uniquement des éléments chromatiques rassemblés dans la dernière ligne. Or, le violet y manque en totalité. L'indigo et le bleu y sont en proportions relatives très-faibles; les éléments dominants sont les moins réfrangibles, et leur abondance relative augmente à mesure que la réfrangibilité diminue. La teinte résultante d'un tel ensembl edevra donc évidemment se rapprocher de cette partie du spectre où la réfrangibilité est la moindre. Mais l'expérience habituelle des coloristes montre que le rouge mêlé au jaune produit pour l'œil des tons orangés, qu'une faible addition de vert et de bleu ne fait que rendre plus indécis et plus sombres. Ce devra donc être là l'effet résultant de la troisième ligne. Ainsi, étant associée aux deux autres, la coloration qu'elle produira, si elle est sensible, devra être un orangé jaunâtre. En outre, on ne pourra pas l'apercevoir aux plus petites épaisseurs, à cause de la proportion presque totale de blanc qui s'y mêlera. A la vérité, cette quantité de blanc additionnelle diminuera par degrés, en raison directe de e^2, à mesure que les plaques observées

deviendront plus épaisses; mais peut-être à l'épaisseur $0^{mm},6$, où ces formules approximatives sont limitées, ne sera-t-il pas encore assez affaibli pour que la coloration produite par la troisième ligne soit sensible. Je n'ai pu commencer à l'apercevoir avec certitude qu'à l'épaisseur $0^{mm},8$, en opérant avec la lumière des nuées réfléchie par une glace noire dans la chambre obscure; et alors la teinte naissante de l'image ordinaire O était perceptiblement jaunâtre, conformément à notre calcul.

37. On obtient des résultats plus marqués à des épaisseurs plus grandes, telles que celles pour lesquelles les nombres du tableau de la page 317 sont calculés. Je considère d'abord la première, où l'on a $e = 1^{mm},777$. Alors, extrayant du tableau les éléments chromatiques de l'image ordinaire qui s'y rapporte, je détache de chacun d'eux une partie proportionnelle au coefficient 0,024133 de $I_{u'}$, ce qui groupe l'ensemble de ces éléments comme il suit :

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'}\right] 0{,}024133$$
$$+ \left[I_{r'} . 0{,}737782 + I_r . 0{,}667425 + I_o . 0{,}596616 + I_j . 0.517059 + I_v . 0{,}397540 + I_b . 0{,}265956 + I_i . 0{,}165320 + I_u . 0{,}064778\right].$$

Alors je décompose encore tous les termes de la deuxième ligne, de manière à extraire de chacun d'eux une quantité proportionnelle au coefficient 0,064778 de I_u. L'ensemble du système ainsi groupé se présente comme il suit :

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'}\right] 0{,}024133$$
$$+ \left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u\right] 0{,}064778$$
$$+ \left[I_{r'} . 0{,}673004 + I_r . 0{,}602647 + I_o . 0{,}531838 + I_j . 0{,}452281 + I_v . 0{,}332762 + I_b . 0{,}201178 + I_i . 0{,}100542\right].$$

La première ligne exprime un blanc parfait. La deuxième exprime un blanc auquel il ne manque que la division terminale violette de Fraunhoffer. Sa coloration, si elle est perceptible, ne pourra que l'incliner à peine vers un blanc

jaunâtre. La troisième ligne décidera donc seule la teinte de l'image. Or tout le violet y manque; l'indigo et le bleu y entrent en proportion très-faible, tandis que les autres éléments moins réfrangibles y concourent suivant des proportions croissantes, à mesure que la réfrangibilité diminue. Cette troisième ligne formera donc à elle seule un jaune orangé, et même relativement plus orangé que celui qui était formé par la ligne de même rang aux épaisseurs très-petites, parce que les éléments les moins réfrangibles dominent ici dans des proportions relatives plus fortes. En outre, cette teinte orangée de l'image ressortira ici beaucoup plus évidemment, parce qu'elle est associée à une proportion de blanc qui ne s'élève pas à $\frac{1}{10}$ de toute la lumière transmise à travers la plaque. Tout cela est rigoureusement conforme à l'expérience; car, pour cette épaisseur $1^{mm},777$ ou $1^{mm},8$, elle donne l'image ordinaire O d'un jaune orangé très-beau, et l'image extraordinaire E d'un blanc légèrement bleuâtre.

38. Je considère maintenant l'épaisseur $2^{mm},90074$, qui est la seconde du tableau de la page 317, et je rassemble encore pour ce cas les éléments de l'image ordinaire O, qui s'y trouvent consignés; mais on ne peut plus les grouper de la même manière pour les décomposer en sommes positives, parce que la seule partie de leurs coefficients numériques qui soit commune à tous, est 0,004204, laquelle forme le coefficient de I_b. La proportion de blanc parfait que l'on peut isoler de l'ensemble est donc limitée à ce coefficient; et, en la séparant du reste, le système total se groupe comme il suit :

$$\left[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'}\right]0{,}004204$$
$$\left[I_{r'}.0{,}449191 + I_r.0{,}323538 + I_o.0{,}215460 + I_j.0{,}117302 + I_v.0{,}021286 + I_i.0{,}061010 + I_u.0{,}224869 + I_{u'}.0{,}449191\right]$$

Ici il n'y a plus de décomposition ultérieure possible. La première ligne seule forme encore un blanc parfait ; mais la quantité absolue n'est qu'une excessivement petite fraction de la lumière totale transmise à travers la plaque. Dans la deuxième ligne, d'où dépend la coloration de l'image résultante, le bleu manque absolument, et l'indigo, ainsi que le vert, entrent en proportions extrêmement faibles ; mais le violet et le rouge abondent associés à des proportions notables de jaune et d'orangé. On peut donc encore prévoir, par un sentiment assez sûr, qu'un tel ensemble devra produire sur l'œil la sensation mixte d'un rouge orangé ; et c'est en effet ce que l'expérience donne quand l'épaisseur des plaques atteint cette limite précise de $2^{mm},9$ ou 3 millimètres, que nous avions supposée dans notre calcul. Toutefois, l'intervention des éléments les plus réfrangibles du spectre, revenant ici s'associer aux moins réfrangibles, commence à rendre plus incertaine l'appréciation immédiate de leur effet simultané, par les seules considérations d'expérience habituelle dont nous avions pu faire jusqu'à présent usage. La difficulté s'accroît aux épaisseurs plus grandes, où cette mixtion des parties du spectre les plus éloignées en réfrangibilité devient plus abondante, plus générale, et aussi plus variée dans ses proportions. Il faut alors pouvoir s'appuyer sur des expériences directes, pour savoir comment les impressions produites par diverses quantités relatives de lumières simples de nature donnée, s'associent et se modifient mutuellement dans la sensation complexe qui résulte de leur ensemble. C'est ce que Newton a fait, et c'est de là qu'il

a tiré sa règle de la composition des teintes. Nous devrons donc y recourir pour suivre le progrès des couleurs des images à des épaisseurs plus grandes que celles que nous venons de considérer. Mais ayant pu les déterminer jusque-là par des raisonnements sûrs et directs, d'après le seul emploi des valeurs que nous avons attribuées aux arcs de rotation, l'application de la règle de Newton aux mêmes cas fournira une vérification légitime de cette règle elle-même, puisque les proportions des diverses lumières simples qu'on y introduira auront été déjà trouvées en concordance constante et parfaite avec la succession des teintes observées.

V.

Applications numériques de la règle de Newton à la détermination des teintes des images ordinaire et extraordinaire qui s'observent à travers les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, lorsque l'on y transmet un faisceau blanc, préalablement polarisé en un sens unique, la section principale du prisme analyseur coïncidant avec le plan de polarisation primitif.

39. Je commence par considérer les épaisseurs très-petites, pour lesquelles les proportions de lumières simples qui entrent dans l'image extraordinaire, sont exprimées avec une exactitude suffisante par les termes de l'ordre e^2. Pour leur appliquer la règle, il faut reprendre dans la première colonne du tableau de la page 301, les expressions de $F_{(e)}$, relatives aux diverses divisions du spectre newtonien, et y remplacer les lettres I par les valeurs respectives que Newton leur assigne, valeurs qui sont numériquement exprimées dans le tableau de la page 271, où elles sont désignées par les lettres *i*. On aura ainsi, selon sa règle, les nombres de rayons de chaque division homochromatique qui doivent entrer dans l'image résultante, en désignant par $658\frac{1}{3}$ le nombre total de ceux qui composent le faisceau blanc d'où ils sont extraits. Ces substitutions effectuées donnent aux éléments chromatiques de l'image F_e les expressions suivantes:

Nombre des rayons	rouges	$r = \frac{e^2}{R^2}.\ 40043,5$
—	orangés	$o = \frac{e^2}{R^2}.\ 28599,6$
—	jaunes	$j = \frac{e^2}{R^2}.\ 57570,5$
—	verts	$v = \frac{e^2}{R^2}.\ 86239,1$
—	bleus	$b = \frac{e^2}{R^2}.104382,0$
—	indigo	$i = \frac{e^2}{R^2}.\ 81573,7$
—	violets	$u = \frac{e^2}{R^2}.185726,7$
Somme ou nombre total des rayons contenus dans E		$N = \frac{e^2}{R^2}.584135,1$
Complément ou nombre total des rayons contenus dans O		$N' = 658\frac{1}{3} - \frac{e^2}{R^2}.584135,1.$

J'ai conservé en évidence le facteur littéral $\frac{e^2}{R^2}$, qui est commun à tous les éléments chromatiques de l'image E, ainsi qu'à leur somme N. Or, par cela même qu'il leur est commun, il disparaîtra dans le calcul des coordonnées X et Y, qui caractérisent la teinte de cette image, puisque leurs expressions, telles qu'on les voit page 276, ne dépendent que des rapports de ces quantités. Ainsi, tant que l'épaisseur e sera assez restreinte pour que les éléments chromatiques de l'image E puissent être évalués par l'approximation admise dans le tableau de la page 301, la teinte de cette image, calculée par la règle de Newton, sera constante, et elle contiendra une quantité totale de lumière proportionnelle au carré de l'épaisseur e. Ceci est conforme aux deux premières propositions que nous avons directement établies.

40. Il ne reste plus qu'à déterminer la nature de la couleur prismatique à laquelle cette teinte doit être rapportée. Pour cela il faut calculer les valeurs numériques des coordonnées X et Y par les formules de la page 276, puis en conclure celles de U et de Δ qui y correspondent. On trouve ainsi d'abord, en supprimant le facteur commun $\frac{e^2}{R^2}$,

$$X = + \frac{43978,9}{584135,1}, \qquad Y = - \frac{159387,0}{584135,1}.$$

Le signe positif de X indique que le point extrême de Δ a son abscisse positive, et le signe négatif de Y indique que son ordonnée est négative. D'après ces caractères, le rayon vecteur Δ se dirige dans le dernier quadrant du cercle chromatique, en comptant les arcs de ce cercle en allant du commencement du rouge vers les couleurs plus réfrangibles, depuis 0° jusqu'à 360. Achevant donc le calcul de l'angle U et de la distance Δ, d'après leurs expressions en fonction de X et de Y, on trouve

$$U = 285°25'32'', \qquad \Delta = 0,283063, \qquad 1 - \Delta = 0,716937.$$

Si l'on porte l'arc U sur le contour du cercle chromatique décrit fig. I[re], et que l'on cherche où il se termine parmi les divisions de ce cercle, dont nous avons donné le tableau pag. 274, on voit qu'il dirige le rayon vecteur Δ presque exactement au milieu de l'indigo; et, en y associant les valeurs de Δ et $1 - \Delta$, cet indigo serait semblable pour l'œil à celui que l'on formerait si l'on mêlait 28 parties d'indigo prismatique avec 72 parties de blanc, ce qui formerait un blanc bleuâtre ou un bleu blanchâtre. Tel serait donc, selon la règle newtonienne, le caractère constant de la teinte de l'image E d'après la combinaison de ses éléments prismatiques, calcu-

lés pour toutes les limites d'épaisseur auxquelles l'approximation ici employée est applicable. En outre, son intensité serait toujours très-faible, en raison du facteur $\frac{e^2}{R^2}$, qui entre comme coefficient dans l'expression générale du nombre N de rayons dont l'image est composée. Par exemple, si l'on suppose $e = 0^{mm},400$, on trouvera $N = 27,822$; c'est-à-dire que, sur la somme totale des rayons constituant le faisceau blanc dont l'image F_e est extraite, somme représentée ici par $658\frac{1}{3}$, elle en contiendrait seulement 28, et beaucoup moins encore à des épaisseurs moindres, proportionnellement au carré de e^2. Toutes ces indications de la règle s'accordent avec l'expérience, aussi exactement qu'il est possible d'en juger; car, de décider si la teinte observée s'assimile réellement à un indigo ou à un bleu prismatique, c'est ce que l'œil est incapable de faire pour des images d'une intensité aussi faible et aussi mêlées de blanc.

41. Considérons maintenant l'image O, qui est complémentaire de E. D'après ce caractère, les formules établies page 278 assignent à ses coordonnées indicatrices la forme suivante :

$$U' = 180° + U, \qquad \Delta' = \Delta \frac{N}{N'} = \Delta \frac{N}{658\frac{1}{3} - N}.$$

Examinons d'abord l'expression de U', qui caractérise la nature de la teinte. En y remplaçant U par sa valeur trouvée plus haut, et supprimant dans le résultat une circonférence entière, elle devient

$$U' = 105° \; 25' \; 32''.$$

Si l'on place cet arc sur le contour du cercle chromatique,

et que l'on cherche où il se termine parmi les divisions définies dans le tableau de la page 274, on voit qu'il dirige le rayon vecteur Δ' dans le jaune, presque sur le point intermédiaire entre le jaune moyen et la fin de l'orangé. Telle sera donc la teinte de F_o selon la règle newtonienne, et l'expérience est très-conforme à cette indication, quand l'épaisseur e s'est assez accrue pour que la coloration de l'image O devienne perceptible à l'œil. Cela ne commence à avoir lieu que lorsque cette épaisseur atteint $0^{mm},5$ ou $0^{mm},6$, c'est-à-dire, vers la limite à laquelle nous avons borné ces premières évaluations; jusque-là, on ne peut la distinguer avec certitude d'un blanc parfait. Or, cette excessive faiblesse de la coloration de O, dans les épaisseurs aussi restreintes, est encore une particularité parfaitement indiquée par l'expression de Δ', donnée ici en fonction de Δ et de N. Pour le faire voir, je reprends l'expression de N trouvée plus haut, et, effectuant la division par R^2, que nous avions laissé jusqu'ici sous sa forme littérale, elle devient

$$N = e^2 . 177,9375.$$

En substituant cette valeur dans Δ', je divise les deux termes du facteur de Δ dans le second membre, par $658 \frac{1}{3}$, afin de le ramener à sa forme la plus simple; j'obtiens ainsi

$$\Delta' = \Delta . \frac{e^2 . 0,270285}{1 - e^2 . 0,270285}.$$

On voit déjà que Δ' est de l'ordre $e^2 \Delta$. Or, la substitution du carré des arcs au carré des sinus, qui sert ici de fondement à tous nos calculs, n'est exacte que dans les quantités de l'ordre e^2. On y néglige les termes dépendants de e^4 et des puissances supérieures de e. Il faut donc restreindre l'ex-

42.

pression actuelle de Δ' dans les mêmes limites, c'est-à-dire y négliger le terme qui a pour coefficient e^2 au dénominateur, où il est associé à l'unité. L'expression de Δ' ainsi réduite sera donc:

$$\Delta' = \Delta e^2 . 0{,}270285\,;$$

et en y mettant pour Δ sa valeur 0,283063, trouvée plus haut, elle devient enfin:

$$\Delta' = e^2 . 0{,}076508.$$

Cette expression donnera toujours à Δ' une valeur très-faible, et bien plus faible que Δ, tant à cause de la petitesse de son facteur numérique, qu'en raison du multiplicateur e^2 qui lui est associé, et qui, dans les applications, devra être inférieur ou au plus égal à 0,36. Ainsi, selon ce calcul, aux épaisseurs très-petites, la teinte jaune de O sera, dans son espèce, comparativement bien plus pâle encore que le bleu de F_e, par la proportion beaucoup plus considérable de blanc qui s'y mêlera. Cela est exactement conforme à l'expérience.

42. Pour avoir une appréciation précise de ces effets, donnons successivement à l'épaisseur e les valeurs $0^{mm},4$; $0^{mm},5$; $0^{mm},6$, dont la dernière atteint l'extrême limite à laquelle nous ayons jugé convenable d'étendre la substitution de l'arc au sinus; nous obtiendrons ainsi les résultats suivants :

ÉPAISSEURS e	VALEURS DE Δ'	VALEURS DE $1-\Delta'$	COMPOSITION DE LA TEINTE résultante de l'image O exprimée approximativement.
mm 0,4	0,012241	0,987759	1 partie de jaune prismatique mêlée à 99 de blanc.
0,5	0,019127	0,980873	2 parties de jaune prismatique mêlées à 98 de blanc.
0,6	0,027542	0,972457	3 parties de jaune prismatique mêlées à 97 de blanc.

C'est seulement à la plus grande épaisseur $0^{mm},6$ que l'on commence à soupçonner dans O la présence dominante du jaune. Il y devient progressivement bien plus sensible vers les épaisseurs plus grandes ; mais alors les calculs doivent se faire avec les carrés des sinus des arcs, ou, mieux encore, avec les formules rigoureuses

$$F_o = \frac{1}{2} I \left[1 + \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a) \right],$$
$$F_e = \frac{1}{2} I \left[1 - \frac{R \sin(a' - a)}{(a' - a)} \cos(a' + a) \right].$$

En effectuant ces calculs pour les épaisseurs que nous avons étudiées plus haut spécialement, on trouvera les indications de la règle de Newton minutieusement conformes aux conclusions que nous avons tirées de la discussion directe, et qui sont aussi constatées par l'expérience avec une parfaite fidélité. La règle se trouve donc immédiatement vérifiée par cet accord dans les limites d'épaisseur dont il s'agit. On peut se convaincre de ce fait par la seule inspection des figures 2 et 3, qui ont été construites d'après les résultats numériques qu'elle a donnés. Tous les éléments de

cette construction sont rassemblés dans un tableau annexé à mon Mémoire de 1818, page 69 ; on pourra, au besoin, les y consulter. En les employant ici à la construction des fig. 2 et 3, j'y ai seulement corrigé quelques légères fautes de calcul numérique, que j'ai indiquées dans l'introduction au présent Mémoire.

43. La seule difficulté pratique que ces applications puissent présenter consiste dans le soin qu'il faut prendre pour déterminer exactement le signe positif ou négatif qu'il faut donner à cos $(a + a')$, lorsque l'accroissement de l'épaisseur fait sortir cet arc du premier quadrant pour une ou plusieurs des divisions homochromatiques du spectre newtonien. Quoique cette détermination soit toujours facile pour les personnes habituées aux calculs trigonométriques, on peut se dispenser de l'attention qu'elle exige, au moyen de la transformation suivante, qui évite toute chance d'erreur.

Je considère seulement F_e, puisque F_o s'en déduit comme complément de I. Plaçons la section principale du prisme analyseur dans l'arc de déviation quelconque α, compté à partir du plan de polarisation primitif, dans le même sens que les arcs a, a' ; l'expression exacte et générale de F_e est alors :

$$F_e = \frac{1}{2}\,\mathrm{I}\left[1 - \frac{\mathrm{R}\sin(a'-a)}{(a'-a)}\cos\left\{a' + a - 2\alpha\right\}\right].$$

Je remplace cos $(a' + a - 2\alpha)$ par son expression équivalente $1 - 2\sin^2\left\{\frac{1}{2}(a' + a) - \alpha\right\}$. Il en résulte :

$$F_e = \frac{1}{2}\,\mathrm{I}\left[1 - \frac{\mathrm{R}\sin(a'-a)}{(a'-a)} + 2\,\frac{\mathrm{R}\sin(a'-a)}{(a'-a)}\sin^2\left\{\frac{1}{2}(a' + a) - \alpha\right\}\right].$$

Nommons e l'épaisseur de la plaque considérée : cette épaisseur étant exprimée en parties du millimètre, $\frac{1}{2}(a' + a)$ est

TABLEAU A' — Détermination de la teinte de l'image extraordinaire E formée par la somme de ses éléments chromatiques compris dans le spectre newtonien, tels que les présente le tableau précédent, calculé pour l'épaisseur [illegible]

[illegible]	ROUGE	ORANGÉ	JAUNE	VERT	BLEU	INDIGO	VIOLET
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	$\log N = [illegible]$
[illegible]	[illegible]			$\Delta = 0{,}133080$ $1 - \Delta = [illegible]$		[illegible]	
[illegible]	[illegible] … on le formerait en mêlant 15 ½ parties d'orangé prismatique avec 84 ½ parties de blanc						
[illegible] de la teinte de l'image [illegible]		$\log \frac{N}{N'} = 0{,}0952819$ $\log \Delta = \bar{1}{,}2858357$		$\Delta' = 0{,}193124$ $1 - \Delta' = 0{,}806876$		[illegible]	
[illegible]	[illegible] … qu'on le formerait en mêlant 19 ⅓ parties d'indigo prismatique avec 80 ⅔ de blanc						

DIVIS

thmes de
thmes de
thmes de
s de $\rho'e$.
mes en g
thmes de
. . .
sin $\rho'e$.
. . .
$\frac{\sin \rho'e}{\rho'e}$.
$\frac{e}{}$ . . .
$\frac{\sin \rho'e}{\rho'e}$.
hmes d
thmes d
hmes d
s de ρe.
ion de
s réduite
èmes en
us des
$n^2\rho e$. .
$\frac{\sin \rho'e}{\rho'e}$.
$\frac{\sin \rho'e}{\rho'e}$
s de R
R $\frac{\sin}{\rho'e}$
s de F_e
s de F_o

Tableau A. — Calcul complet de tous les éléments chromatiques qui composent les images ordinaire, extraordinaire O, E, vues à travers une plaque de cristal de roche, perpendiculaire à l'axe, d'une épaisseur [illegible]; la section principale du prisme analyseur coïncidant avec le plan de polarisation primitif.

DIVISIONS CHROMATIQUES	TERMINALE ROUGE r'	ROUGE r	ORANGÉ o	JAUNE j	VERT v	BLEU b	INDIGO i	VIOLET u	TERMINALE VIOLETTE u'
Logarithmes de ρ	0,3268272	0,4735162	[illegible]	0,5269980	0,6401036	0,6562132	0,4923273	0,8066886	0,4856647
Logarithmes de l'épaisseur 11mm,047	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444
Logarithmes de ρe	1,3700716	1,5167606	1,3079914	1,5702424	1,6833480	1,6995576	1,5355717	1,8499330	1,5289091
Valeurs de ρe	23°,446	32°,867	20°,323	37°,174	48°,233	50°,068	34°,322	70°,784	33°,799
Les mêmes en graduation sexagésimale.	23°.26'.46"	[illegible]	20°.19'.23"	37°.10'.26"	48°.13'.59"	[illegible]	34°.19'.19"	70°.47'.2"	33°.47'.56"
Logarithmes de sin ρe	1,5997591	[illegible]	1,5407211	1,7812066	1,8726576	1,8846803	1,7511577	$\bar{1}$,9751026	$\bar{1}$,7452941
Log h	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226	1,7581226
Log h sin ρe	[illegible]	1,4926744	1,2988437	1,5393292	1,6307802	1,6428089	1,5092803	1,7332252	1,5034157
Log ρe	1,3700716	1,5167606	1,3079914	1,5702424	1,6833480	1,6995576	1,5355717	1,8499330	1,5289091
Log R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$	1,9878101	1,9759138	1,9908523	$\bar{1}$,9690868	$\bar{1}$,9474322	$\bar{1}$,9432513	$\bar{1}$,9737086	$\bar{1}$,8832922	$\bar{1}$,9745066
R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$	0,972322	0,946049	0,979157	0,941294	0,885997	0,877508	0,941258	0,764350	0,942989
1 − R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$	0,027678	0,053951	0,020843	0,068706	0,114003	0,122492	0,058742	0,235650	0,057011
Logarithmes de ρ	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,3801000	1,4449733	1,5093128	1,5578349	1,6115582	1,6591362
Logarithmes de l'épaisseur $e = 11^{mm},047$.	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444	1,0432444
Logarithmes de $2\rho e$	2,2590194	2,3216341	2,3734846	2,4233444	2,4882177	2,5525572	2,6010793	2,6548026	2,7023806
Valeurs de $2\rho e$	181°,560	209°,711	236°,311	265°,060	307°,764	356°,909	399°,098	451°,651	503°,942
Réduction de $2\rho e$ à un cadran simple.	180°	180°	180°	180°	360°	360°	360°	360°	360°
Valeurs réduites de $2\rho e$	1°,560	29°,711	56°,311	85°,060	52°,236	3°,091	39°,098	91°,651	143°,942
Les mêmes en graduation sexagésimale	[illegible]	[illegible]	56°.18'.40"	85°.3'.36"	52°.14'.10"	3°.5'.28"	39°.5'.53"	91°.39'.4"	143°.56'.31"
Logarithmes des sinus réduits	2,4349483	$\bar{1}$,6951551	[illegible]	1,9983848	1,8979145	2,7317813	$\bar{1}$,7997880	$\bar{1}$,9998196	1,7698237
Log sin² ρe	4,8698966	[illegible]	1,8403110	1,9967676	1,7958490	3,4635626	1,5995760	$\bar{1}$,9996392	1,5396474
Log R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$	1,9878101	1,9759138	[illegible]	$\bar{1}$,9690868	$\bar{1}$,9474322	$\bar{1}$,9432513	$\bar{1}$,9737086	$\bar{1}$,8832922	$\bar{1}$,9745066
Log (R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$ sin² ρe).	[illegible]	1,3661240	1,8311633	$\bar{1}$,9658544	$\bar{1}$,7432812	3,4068139	$\bar{1}$,5732846	$\bar{1}$,8829314	1,5141540
Valeurs de R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$ sin² ρe	[illegible]	0,232394	[illegible]	0,924388	0,553708	0,002552	0,374358	0,763715	0,326704
½ (1 − R $\frac{\sin \rho e}{\rho e}$)	0,013839	0,026975	[illegible]	0,034353	0,057001	0,061246	0,029371	0,117825	0,028505
Valeurs de E	[illegible]	[illegible]	I. 0,688317	I. 0,958741	I. 0,610709	I. 0,063798	I. 0,403709	I. 0,881540	I. 0,355[illegible]
Valeurs de O	[illegible]	[illegible]	I. 0,311683	I. 0,041259	I. 0,389[illegible]	I. 0,936202	I. 0,596291	I. 0,118460	I. 0,644791

l'arc de déviation moyen qu'y subit la division homochromatique pour laquelle on veut faire le calcul, et $a'-a$ est l'amplitude totale sur laquelle les plans de polarisation se trouvent répartis. Conséquemment, si l'on se reporte aux dénominations adoptées dans le tableau de la page 296, $\frac{1}{2}(a'+a)$ sera ρe; et $a'-a$ sera $\rho' e$ pour la division dont il s'agit. Ces nouvelles expressions étant substituées dans F_e, on a :

$$F_e = I\left[\frac{1}{2}\left\{1-\frac{R\sin\rho' e}{\rho' e}\right\}+\frac{R\sin\rho' e}{\rho' e}\sin^2(\rho e-\alpha)\right].$$

Ceci ne donnera plus lieu à aucune difficulté de signe dans les applications habituelles; car d'abord $\sin^2(\rho e-\alpha)$ sera toujours positif, comme étant un carré. Quant à $\sin\rho' e$, il ne commencera à devenir négatif que lorsque l'arc $\rho' e$ surpassera 180°. Or, pour la division violette même, où ρ' a la valeur la plus grande, cela n'arrivera qu'à des épaisseurs excédant 28 millimètres, limite à laquelle les teintes des images deviennent trop indécises pour qu'on puisse y appliquer la règle de Newton avec quelque sûreté; enfin, si l'on voulait aller jusque-là, le signe de $\sin\rho' e$ ne serait nullement difficile à reconnaître d'après la valeur de l'arc $\rho' e$. Par ces motifs, la formule précédente me paraît la plus simple et la plus commode que l'on puisse employer dans tous les cas.

44. Pour donner un exemple de ce calcul qui puisse servir de type général, je vais l'effectuer en prenant l'épaisseur e, égale à $11^{mm},047$, et supposant α nul, ce qui place la section principale du prisme analyseur en coïncidence avec le plan de polarisation primitif. Je choisis cette épaisseur, parce que c'est celle d'un des systèmes dont je rapporterai plus loin l'observation détaillée; et, en outre, c'est aussi un des cas exceptionnels où la règle de Newton est manifestement en

désaccord avec l'expérience; de sorte qu'il y a un intérêt spécial à rechercher la cause de cette particularité. Tous les détails du calcul numérique qui s'y rapporte sont présentés par ordre dans le tableau suivant, avec le petit nombre d'explications nécessaires pour les suivre, les bien comprendre, et en effectuer de pareils sans difficulté.

45. Ce tableau se compose de deux parties distinctes. Dans la première, on calcule d'abord les arcs de rotation $\rho' e$, ρe, propres à chaque division chromatique du spectre newtonien et à leurs annexes, pour l'épaisseur assignée; et l'on en déduit les proportions de leurs diverses lumières, qui entrent dans l'une ou l'autre image. Ce calcul ne suppose que les lois de déviation des différents rayons simples, et la raison suivant laquelle chaque filet, polarisé en un certain sens, se répartit entre les deux images, dans la position attribuée au prisme analyseur.

Dans la seconde partie du tableau, on extrait de ce premier calcul les seules portions de lumière qui sont comprises dans le spectre de Newton, et on les combine suivant sa règle, pour en conclure la teinte résultante de chaque image. Je vais discuter successivement les résultats individuels de ces deux opérations.

46. Le mode de répartition des diverses divisions chromatiques entre les deux images O, E, qui est donné par le premier calcul, peut se vérifier, non pas avec rigueur, mais avec un certain degré d'approximation, en réfractant simultanément ces images par un prisme très-dispersif, et comparant les lumières de réfrangibilités diverses qui abondent ou qui manquent dans les deux spectres ainsi formés. Pour mieux distinguer les parties de ces spectres, il faut insérer dans le

trajet du faisceau incident un diaphragme ouvert au centre, suivant une fente étroite que l'on dirige dans le plan de polarisation primitif (*). Alors, conformément à notre calcul,

(*) Cette méthode d'analyser la composition des images O, E, en les réfractant à travers un prisme très-dispersif, a été imaginée par MM. Fizeau et Foucault, qui l'ont proposée pour un but plus général, dans le tome XXI de l'Académie des sciences, pages 1155-1158. Je l'emploie ici, d'après eux, comme offrant un genre de vérification qui, bien que très-vague quand on l'applique aux phénomènes rotatoires, n'est cependant pas sans utilité. Pour confirmer ce que j'ai dit, dans l'Introduction, sur les causes de son incertitude dans de pareilles circonstances, prenons, comme exemple, le cas même que nous considérons ici dans le texte, celui où l'épaisseur de la plaque étudiée est $11^{mm},047$. D'après notre tableau (A), les plans de polarisation des rayons jaunes y sont dispersés, à leur émergence, dans une amplitude totale $\rho' e$, qui embrasse $37^\circ\ 10'\ 26''$, et le milieu de cette amplitude, qui appartient au plan de polarisation des rayons jaunes moyens, est placé dans l'arc absolu de déviation $\rho_j e$, lequel se trouve égal à $265^\circ,06$, ou $270^\circ - 5^\circ$, en négligeant la petite fraction additionnelle. D'après cela, pour éteindre, le plus possible, la lumière jaune dans l'image ordinaire O, il ne faudrait pas placer la section principale du prisme analyseur sur la direction $\alpha = 0$; mais il faudrait l'amener sur la direction $\alpha = -5^\circ$, ce qui la mettrait juste à 90° de distance du milieu de l'arc sur lequel tout le jaune est réparti. Mais, comme la proportion de lumière jaune qui entre dans l'image O est ici à très-peu près proportionnelle au carré du cosinus de l'angle formé par la section principale du prisme avec l'arc de déviation du jaune moyen, son intensité reste insensible pour l'œil, dans une assez grande amplitude de déviation autour de cette portion spéciale du prisme analyseur : ce qui empêche de tirer, de sa disparition apparente, un indice de direction suffisamment précis pour l'employer à vérifier la loi des rotations. On rendrait le genre d'épreuve plus délicat, si l'on pouvait accroître à volonté l'épaisseur des plaques, parce que les plans de polarisation de réfrangibilité voisine se trouvant plus séparés les uns des autres

l'image ordinaire O présente dans son spectre un rouge abondant et long, un peu d'orangé, une absence sensiblement totale de jaune, et une zone violette faible, plus sensible dans sa partie finale la plus réfrangible que dans son commencement. L'image extraordinaire E, au contraire, présente un rouge court, et seulement visible dans la portion qui confine à l'orangé; puis une intermittence sensiblement totale dans le bleu à la fin du vert, suivie d'un violet notablement plus abondant que dans O.

47. Maintenant, de tous ces éléments ainsi dispersés, la règle de Newton extrait seulement les divisions intermédiaires entre les deux extrêmes qu'elle combine ensemble exclusivement, pour en conclure les teintes résultantes des deux images; et elle les donne ainsi toutes deux très-pâles, comme étant mêlées d'une proportion considérable de blanc. Ad-

---

à mesure que l'épaisseur devient plus grande, ils échappent plus promptement aux conditions d'une disparition commune : ce qui rend l'amplitude de chaque intermittence moindre, à mesure que leur nombre total augmente dans l'étendue d'un même spectre. Mais on verra plus loin que ce nombre est toujours fort restreint, par les conditions physiques qui limitent l'épaisseur des plaques sur lesquelles on peut effectuer ces observations. On pourrait espérer, à la vérité, de diminuer notablement l'amplitude des intermittences à égale épaisseur, en opérant sur une lumière d'une très-grande intensité, comme la lumière solaire fixée par un héliostat. Mais, en supposant qu'on pût la polariser avec assez de rigueur pour des mesures précises, en lui conservant sa vivacité, il serait bien plus sûr d'étudier immédiatement les lois des rotations sur ses éléments mêmes, après les avoir simultanément réfractés par un prisme très-dispersif, afin d'en former un spectre que l'on polariserait par portions définies par les raies de Fraunhoffer, comme M. Regnault l'a depuis longtemps proposé.

mettons pour un moment que ce calcul indique avec une approximation suffisamment exacte l'effet qui devrait être produit sur l'œil par la somme des éléments employés. L'intervention additionnelle des deux divisions terminales omises devra nécessairement modifier ce résultat dans l'observation, surtout pour l'image ordinaire O, où la lumière contenue dans ces divisions se porte en proportion dominante; et elle devra faire incliner la teinte de cette image vers un rouge bleuâtre, comme en effet on l'observe; mais la modification ainsi opérée ne peut être prévue par ce raisonnement que dans un aperçu très-vague; car la règle de Newton étant censée comprendre tous les éléments de la lumière blanche, définis par les longueurs qu'il a assignées à leur accès, et les divisions qui les embrassent étant seules réparties sur le contour total de son cercle chromatique, on ne peut plus combiner avec ces éléments, dans un même calcul, des portions additionnelles de lumière qui leur seraient étrangères, quoiqu'elles dussent aussi entrer dans la composition du blanc parfait. De là il résulte que la règle de Newton pourra tout au plus donner des indications sensiblement exactes, quand les portions de lumière contenues dans les divisions terminales, qu'il a omises, deviendront négligeables pour l'œil, ou ne se sépareront pas assez de leurs voisines pour qu'il soit nécessaire de les en distinguer. Mais, à parler rigoureusement, on voit qu'il faut reprendre ce travail de Newton, en ayant égard à toute la lumière réellement visible du spectre, afin d'en déduire une règle analogue à la sienne, qui comprenne les extrêmes, qu'il a omis.

VI.

De la teinte de passage. Exposé de ses caractères physiques; et de son usage pour suppléer à l'emploi du verre rouge entre des limites restreintes de déviation.

48. Lorsque les plaques douées de pouvoir rotatoire sont limitées à des épaisseurs telles, que les plans de polarisation appartenant à toutes les divisions du spectre sont répartis dans une amplitude angulaire qui n'excède pas 90°, si l'on dirige successivement la section principale du prisme analyseur sur les diverses directions comprises dans cette amplitude, les teintes des images extraordinaires E, qui s'observent aux diverses épaisseurs quand la lumière totale transmise est blanche, présentent des relations spéciales, qui peuvent directement se prévoir d'après le mode général de l'action de ce prisme; et alors la loi de rotation que suivent les rayons de réfrangibilités diverses se décèle dans ces phénomènes avec une évidence manifeste, sans recourir à la règle de Newton pour la composition des couleurs. C'est ce que je vais exposer.

49. Afin de rendre les considérations plus faciles, je suppose d'abord le spectre partagé en divisions chromatiques infiniment petites, contenant chacune une quantité i de lumière propre; et je désigne généralement par ρ l'arc de déviation moyen dans lequel toute cette lumière se trouve polarisée, après avoir traversé une épaisseur de 1^{mm}; en sorte que l'arc analogue devienne ρe pour l'épaisseur e. Ceci convenu, puisqu'il y a rotation, quelle qu'en soit la loi, lors-

qu'un faisceau blanc, primitivement polarisé en un sens unique, aura traversé l'épaisseur e de la substance active, tous les rayons simples dont il se compose auront leurs plans de polarisation déviés de quantités inégales, qui les amèneront sur des directions diverses, comprises entre certaines limites angulaires extrêmes, que je désigne par $\rho_1 e$, $\rho_n e$, en les rangeant par ordre de grandeur. Quelles que puissent être les réfrangibilités et les caractères colorifiques des éléments lumineux, C_1, C_n, qui répondent à ces deux limites, il est évident que, si l'on amène la section principale du prisme sur la direction angulaire $\rho_1 e$, l'image extraordinaire E ne contiendra point l'élément C_1; tandis que tout autre élément, qui aura son plan de polarisation sur la direction ρe, y entrera pour la proportion $i \sin^2(\rho-\rho_1)e$. Ainsi l'élément C_n, qui est polarisé suivant la direction extrême $\rho_n e$, y entrera en plus grande proportion que tous les autres. Maintenant, si la section principale du prisme est amenée dans un arc de déviation α, plus grand que $\rho_1 e$ et moindre que $\rho_n e$, l'élément C_1 commencera à entrer dans l'image E pour la proportion $i_1 \sin^2\{\alpha-\rho_1 e\}$; mais tous les autres y entreront pour des proportions $i \sin^2\{\rho e-\alpha\}$, qui seront moindres que précédemment, le coefficient de i étant devenu plus faible pour chacun d'eux. La section principale du prisme continuant ainsi à s'approcher toujours de la direction extrême $\rho_n e$, chaque élément simple disparaîtra successivement de l'image E, tandis que tous les autres y entreront proportionnellement au carré du sinus de leur écart actuel. Enfin, quand l'arc de déviation α du prisme sera devenu égal à $\rho_n e$, ce sera l'élément extrême C_n qui disparaîtra de E; mais tous les autres y entreront pour des proportions plus grandes qu'ils ne le faisaient à

des déviations du prisme immédiatement moindres. Les teintes de l'image extraordinaire E parcourront donc ainsi une série de nuances, où chacun des éléments colorifiques du spectre manquera et dominera tour à tour, en se succédant les uns aux autres par des phases continues d'accroissement et de décroissement de leur intensité propre. Or, puisque ces alternatives de minimum et de maximum d'intensité, que chaque élément lumineux fournit à l'image totale E, s'opèrent quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec la direction de polarisation de cet élément, ou s'en trouve la plus écartée, leur succession, dans l'amplitude d'écart assignée ici aux plans de polarisation extrêmes, doit être éminemment propre à faire reconnaître la loi de rotation progressive, suivant laquelle ces plans sont dispersés par la substance active à travers laquelle on les observe. Sans doute la loi des rotations est encore empreinte dans les teintes des images qui se forment à des épaisseurs plus grandes, où les plans de polarisation se trouvent dispersés dans des amplitudes quelconques; mais la limite de 90° est nécessaire pour que les carrés des sinus qui règlent la proportion d'intensité fournie par chaque élément lumineux du spectre, suivent une progression continue d'accroissement ou de diminution, quand la section principale du prisme analyseur parcourt l'arc de dispersion qui les embrasse tous. C'est pour cela que je me suis restreint d'abord à cette condition.

50. Les phénomènes ainsi opérés offrent des indications encore plus significatives, quand on les compare à des états de dispersion divers, compris dans la restriction précédente d'amplitude, en faisant croître l'arc de déviation du prisme proportionnellement aux épaisseurs, comme les arcs de dé-

viation des rayons. Pour donner à α ce caractère, je le remplace par $(\rho)e$, (ρ) désignant la valeur quelconque de la déviation α pour une épaisseur de 1^{mm}, dans la condition de proportionnalité supposée. Alors, si l'on conçoit toujours le spectre partagé en subdivisions chromatiques infiniment nombreuses, dont l'intensité propre et variable soit i, chacun des éléments lumineux qui entrera dans l'image extraordinaire E, l'épaisseur étant e, aura pour expression générale

$$F_e = i \sin^2 \{\rho - (\rho)\} e.$$

Si la section principale du prisme analyseur devait coïncider avec la direction de la polarisation primitive, (ρ) serait nul, et l'on retomberait sur l'expression de F_e, que nous avons formée d'abord, pour ce cas spécial, page 303.

Prenons F_e sous cette nouvelle forme. La grandeur de l'arc qui s'y trouve compris sous le signe sinus dépend de la différence $\rho e - (\rho)e$, c'est-à-dire de l'écart angulaire que l'on donne à la section principale du prisme analyseur autour du plan de polarisation actuel de chaque élément lumineux. Admettons que l'épaisseur e et l'arc variable (ρ) soient l'un et l'autre assez restreints pour que, dans l'évaluation de tous les éléments F_e, le carré de l'arc $\{\rho - (\rho)e\}$ puisse, sans qu'il en résulte une erreur appréciable à l'œil, être supposé proportionnel au carré de son sinus ; nous examinerons plus tard quelle limite d'épaisseur cette supposition nécessite. On aura alors, dans tous les cas pareils :

$$F_e = i \left\{ \frac{\rho - (\rho)}{R^2} \right\}^2 e^2.$$

R désignant le rayon du cercle plié en arc.

51. Pour analyser les résultats de cette expression, choisissons une certaine épaisseur (e), dont la petitesse satisfasse aux conditions de restrictions qu'elle suppose; puis attribuons à l'arc (ρ) une certaine valeur fixe, qui déterminera la position que nous voulons donner au prisme analyseur, et qui soit telle que la différence $\rho - (\rho)$, calculée pour tous les éléments lumineux du spectre, complète, par sa petitesse, l'accomplissement de ces mêmes restrictions. Alors l'expression de F_e ne contiendra plus de variables que l'intensité i et l'arc de déviation millimétrique ρ, propres à chaque élément lumineux auquel on voudra l'appliquer. Quand cette évaluation aura été faite pour tous les éléments qui composent le spectre, la somme des valeurs de F_e se composera, pour l'œil, en une certaine teinte, qui sera celle de l'image extraordinaire E pour les valeurs simultanées de (e) et de (ρ) que l'on aura adoptées. Maintenant supposez qu'on laisse (ρ) constant, mais que l'on prenne une autre épaisseur e, pour laquelle le produit $\{\rho - (\rho)\} e^2$, appliqué à tous les éléments du spectre, reste encore dans les limites de petitesse nécessaires à la suffisance physique de l'approximation. Les valeurs de F_e, calculées avec ces nouvelles données, exprimeront des intensités absolues autres que les précédentes; mais elles seront toutes, entre elles, dans un même rapport que précédemment, puisque le nouveau facteur e^2 leur sera commun, comme l'ancien $(e)^2$ l'était aux premiers. La teinte de l'image E, qui résultera de leur ensemble, sera donc la même; elle n'aura varié que dans son intensité, c'est-à-dire, dans la quantité totale de lumière qui la compose, laquelle sera devenue plus grande ou moindre, proportionnellement aux carrés des épaisseurs. La nature de cette teinte changera, si

l'on donne à (ρ) une autre valeur, celle de *e* restant la même, c'est-à-dire, si l'on transporte la section principale du prisme analyseur sur quelque autre direction, relativement au système des plans de polarisation dispersés. Mais, pourvu que ce transport ne sorte pas des limites d'amplitude entre lesquelles l'expression approchée de F_e est applicable, la nouvelle teinte donnée à l'image E, par cette nouvelle valeur de (ρ), sera encore d'une nature constante dans toutes les épaisseurs que l'approximation embrassera; et elle n'y variera non plus que dans la quantité de lumière qui la composera, laquelle sera proportionnelle au carré de ces épaisseurs.

52. Ces résultats ont lieu dans toutes les lois de rotation, quel que soit l'ordre suivant lequel elles dispersent les plans de polarisation des rayons de réfrangibilités diverses, pourvu que l'arc de déviation de ces plans, propre à chaque rayon simple, croisse proportionnellement à l'épaisseur de la substance active qu'ils traversent; ce qui est une propriété générale de ce genre de phénomènes, quand le milieu ainsi traversé reste constant dans sa composition chimique et dans sa température. Aussi la constance de la teinte E, correspondante à une même valeur de (ρ), s'observe-t-elle toujours avec la plus entière évidence, depuis les plus petites épaisseurs de chaque substance active, jusqu'à un certain terme où l'approximation cesse d'être applicable, pourvu que le mouvement de transport donné au prisme analyseur n'excède pas non plus les bornes d'amplitude qu'elle exige. Quand on sort de ces limites d'épaisseur, la teinte de l'image E commence à ne plus se montrer la même pour une même valeur de (ρ), c'est-à-dire, pour des arcs de déviation du prisme proportionnels aux épaisseurs considérées; et cette muta-

tion, qui est progressive, fait connaître que l'on est sorti des restrictions exigées.

53. La constance de la teinte E, qui s'observe à travers les très-petites épaisseurs de cristal de roche, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec la direction de la polarisation primitive, n'est qu'une application particulière de ces résultats généraux. C'est le cas de (ρ) nul. La teinte blanc bleuâtre, ou bleu blanchâtre, que présente alors l'image extraordinaire E, résulte de ce que, dans ce genre de plaques, les déviations croissant avec la réfrangibilité, les éléments lumineux les plus réfrangibles entrent en proportion dominante dans cette image, lorsque le prisme est ainsi placé; mais si on le tourne graduellement, dans le sens de la rotation exercée par la plaque, ce bleu se fonce d'abord, parce que les rayons les moins réfrangibles, ayant leurs plans de polarisation plus déviés que les autres, s'affaiblissent proportionnellement davantage dans l'image extraordinaire, à mesure que la section principale du prisme se rapproche de l'ensemble de ces plans. Si l'on continue à tourner le prisme dans le même sens, ce bleu foncé passe à l'indigo, puis se change en violet, lorsque les carrés des sinus de $\{\rho - (\rho)\}e$, relatifs aux rayons moins réfrangibles, sont tous devenus comparativement assez petits pour que les éléments violets, fournissant presque seuls une valeur de ce carré, encore sensible, se trouvent dominer dans l'image E. Mais, en prolongeant le mouvement du prisme, ce violet s'affaiblit aussi, à mesure que la section principale se rapproche de son plan de polarisation propre; et il finit par disparaître à son tour, en devenant insensible, un peu avant qu'elle ait atteint ce plan. Alors si la plaque est très-mince, et

que l'on opère sur une lumière peu intense, la section principale du prisme pourra n'avoir pas encore assez dépassé les déviations des rayons les moins réfrangibles, pour qu'ils fournissent à l'image E une quantité de lumière appréciable à l'œil, ce qui la fera paraître nulle en totalité ; mais, à un écart un peu plus grand, ou, pour le même écart, avec des épaisseurs un peu plus fortes, ces rayons commenceront à rentrer dans E en quantité sensible, leur retour s'y manifestant d'abord par une nuance rouge, qui succédera au violet précédent. Il y aura donc généralement, dans ce passage du violet au rouge, une position du prisme pour laquelle l'image E sera moins abondante en lumière, ou, à parler exactement, *paraîtra* plus sombre que dans toute autre; et ce minimum d'illumination, très-discernable jusqu'à des épaisseurs de plusieurs millimètres, s'y montre, à de très-petites variations près, lorsque la valeur de (ρ) est égale à 24°, ce qui amène la section principale du prisme sur la direction de polarisation des rayons jaunes moyens (*). J'avais constaté ce résultat dès mes

(*) Les faibles variations que j'indique ici sont les conséquences inévitables de toutes les petites causes d'erreur qui influent sur les résultats observés. On a d'abord à craindre un léger défaut dans la coupe de la plaque, qui ne serait pas toujours rigoureusement perpendiculaire à son axe, et aussi quelque petite déviation dans la perpendicularité d'incidence que l'on veut lui donner. Il est en outre presque impossible qu'elle ne soit pas tant soit peu prismatique; et le moindre défaut dans ces trois conditions aurait des effets si sensibles, que ce n'est déjà qu'avec les plus grands soins qu'on peut suffisamment les atténuer. A cela il faut ajouter les petites erreurs que l'on peut commettre dans l'appréciation du point zéro de l'index d'où l'on compte les déviations, et dans l'observation par laquelle on les détermine. Enfin, la mesure même de l'épaisseur, quoique faite au

premières expériences de 1813, lorsque je ne connaissais pas encore les vitesses de rotation propres aux divers rayons du

---

sphéromètre, comporte encore quelque inexactitude d'appréciation. La plupart de ces inconvénients sont beaucoup moins à craindre quand on observe les déviations à travers des colonnes liquides ; mais, avec des plaques solides, telles que celles de cristal de roche, ils ne peuvent jamais être complétement évités.

Toutefois, pour montrer combien l'appréciation physique du minimum d'intensité de l'image E comporte de justesse, même pour ces plaques, lorsqu'elles sont très-minces, je rapporterai un exemple où elle m'a décelé une erreur que j'avais commise dans la mesure de l'épaisseur, ou plutôt dans le calcul numérique par lequel je l'avais évaluée : il est relatif à une plaque dont j'ai fait usage dans le tome XXI des Comptes rendus, page 467 ; elle y est désignée sous le n° 3 dans le tableau inséré en tête de cette page. Son épaisseur y est marquée comme étant $0^{mm},592$, et l'on y a joint la déviation à l'œil nu $+ 13°$, à travers le verre rouge $+ 9°,55$. Ces indications ne sont pas concordantes; car l'épaisseur $0^{mm},592$ étant multipliée par 24, donne, pour la première de ces déviations, $14°,21$, et les $\frac{23}{30}$ de celle-ci sont pour la seconde $9°,69$. Les déviations observées étaient donc toutes deux plus faibles que ne les indiquait le calcul : elles l'étaient même probablement un peu plus encore que ne le présentent les nombres ici consignés; car, m'étant aperçu de la discordance, je recommençai la mesure des deux déviations, et je dus être naturellement porté à vouloir les rapprocher des évaluations que je savais être conformes aux règles générales. Je ne poussai pas alors plus loin l'examen de cette anomalie, qui était sans importance pour l'application que je voulais faire. Mais aujourd'hui ayant repris la même plaque, pour le but spécial d'y observer le minimum d'intensité de E, il me devint manifeste que j'avais commis quelque erreur; car l'incidence étant rigoureusement perpendiculaire, et le zéro de l'appareil parfaitement réglé, je trouvais indubitablement ce minimum dans un arc de déviation un peu moindre que 12°, où il présentait un violet bleuâtre, presque nul en intensité; tandis que, dans l'arc de 14°, l'image E prenait une teinte rouge jaunâtre très-décidée et bien plus abondante, la-

spectre, et par conséquent sans savoir qu'il appartînt spécialement à ceux-là. On aurait dû cependant le prévoir, d'après la supériorité de leur faculté illuminante : car ici, comme dans les anneaux de Newton, le minimum d'intensité *apparente* de l'image E devait naturellement coïncider avec leur absence ; mais je n'ai aperçu cette relation que beaucoup plus tard. Elle se manifeste par le passage presque soudain de E du violet au rouge, ou plutôt du bleu violacé au rouge jaunâtre, à des épaisseurs notablement plus fortes que celles où

---

quelle, par ce double caractère, attestait que le point de transition du minimum était dépassé. Ainsi averti, je compris qu'il devait s'être glissé une faute dans l'évaluation de l'épaisseur. Or, en effet, en recourant à mon registre, sur lequel les détails de la mesure étaient consignés, je trouvai qu'en convertissant les parties du sphéromètre en parties du millimètre, j'avais fait une faute de report, et qu'il fallait écrire $0^{mm},49238$, au lieu de $0^{mm},59238$, que j'avais supposé par méprise. Alors tout fut éclairci. En effet, cette nouvelle valeur $0^{mm},49238$ étant multipliée par $24°$, déviation du jaune moyen à travers une épaisseur de 1^{mm}, donne, pour la déviation actuelle de ce jaune, par conséquent du minimum d'intensité de E, $11°,817$: ce qui est d'accord avec l'observation attentivement réitérée, laquelle le montre à un peu moins de $12°$; et les $\frac{23}{30}$ de ce nombre font la déviation à travers le verre rouge $9°,06$, un peu plus faible que celle que j'avais admise, par une disposition d'exagération très-naturelle. Ces deux résultats se trouvent donc maintenant concorder avec les évaluations générales. Le premier est toutefois de beaucoup le plus facile à obtenir avec sûreté par l'observation, à cause de l'excessive délicatesse que la fixation directe du minimum d'intensité de E offre à ces petites épaisseurs, où il est presque évanouissant. Je n'ai pas cru inutile d'entrer dans ces détails, parce que, en rectifiant une erreur que j'avais commise, ils m'offraient l'occasion de montrer le degré de sûreté que ces observations peuvent atteindre, quand elles sont faites avec tous les soins qu'on y doit apporter.

l'on peut apprécier dans l'image un minimum certain d'intensité. Ce caractère de transition, que j'ai confirmé par un grand nombre d'expériences, est si délicat, comme si précis, qu'on peut l'employer jusqu'à des épaisseurs de six ou sept millimètres, pour obtenir des déviations proportionnelles à ces épaisseurs, presque aussi exactement que si l'on observait à travers le verre rouge, ce qui est infiniment plus commode. Alors ces déviations étant propres aux rayons jaunes moyens, on les introduit comme telles dans les évaluations du pouvoir rotatoire; ou bien on les convertit en déviations propres au verre rouge, en les multipliant par le facteur constant $\frac{23}{30}$. Ce mode de détermination n'est évidemment applicable qu'aux milieux actifs, qui deviennent les plans de polarisation sensiblement, suivant la même loi que le cristal de roche, c'est-à-dire, exactement ou à très-peu près en raison réciproque du carré des accès des éléments lumineux. Mais cette loi se trouve être si approximativement commune à la très-grande majorité des substances douées du pouvoir rotatoire, que le procédé d'observation qui la suppose peut être employé dans le plus grand nombre des cas. D'ailleurs, l'expérience même montre tout de suite s'il est légitimement applicable; car il suffit d'examiner si, aux diverses épaisseurs du milieu que l'on veut étudier, les teintes des images O, E sont les mêmes que dans le cristal de roche, et se forment suivant les mêmes lois. Quand cela a lieu, les rotations simultanées de tous les rayons peuvent être compensées par l'interposition d'une plaque de cristal de roche d'une épaisseur convenable, ayant un pouvoir rotatoire de sens contraire, ce qui ramène à la fois tous les rayons transmis à la direction de polarisation primitive qui leur était commune.

On peut effectuer aisément cette épreuve au moyen du compensateur de cristal de roche de M. Soleil; et ses indications sont toujours suffisantes pour les expériences habituelles, où l'on n'a pas précisément pour but de déterminer les lois des rotations avec la dernière rigueur dans le milieu que l'on étudie; mais alors on peut très-bien, sans son secours, constater la similitude sensiblement exacte de ces lois à celles du cristal de roche, d'après l'identité apparente de nature et de succession des teintes des images O, E; ou, mieux encore, en mesurant à travers une certaine épaisseur l'arc de déviation du prisme, qui fait passer l'image E du bleu violacé au rouge jaunâtre; puis, voyant si cet arc est les $\frac{30}{23}$ de celui qui, dans les observations faites avec le verre rouge sur la même épaisseur, amène cette image, devenue simple, à son minimum absolu d'intensité. En effet, dans le cristal de roche, nous avons trouvé que l'arc de déviation, qui s'observe à travers le verre rouge, est 18°,414, pour une épaisseur de 1^{mm}. Or, les $\frac{30}{23}$ de ce nombre donnent 24°,017, ce qui, d'après le tableau de la page 296, reproduit l'arc de déviation des rayons jaunes moyens pour la même épaisseur, entre des limites de différence dont l'observation ne saurait répondre. Ce rapport subsistera donc, à toute autre épaisseur, entre les déviations propres aux mêmes réfrangibilités. Ainsi, on devra le retrouver pour elles dans tous les milieux actifs, où les rotations suivront les mêmes lois que dans le cristal de roche, avec d'autres intensités absolues quelconques.

54. Ces phénomènes de transition et de coloration propres aux images O, E, qui se forment dans tous les cas pareils, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens,

sont si caractéristiques de la loi des rotations, et si utiles par leur usage, que je crois essentiel d'en discuter spécialement les détails et les phases par le calcul. Je le ferai d'abord pour les épaisseurs moindres que 1^{mm}, en me servant de la formule approximative, que j'approprierai aux grandes divisions du spectre newtonien et à ses annexes. J'effectuerai ensuite le calcul pour la limite même de 1^{mm} par la formule exacte; puis j'appliquerai aussi cette formule à diverses phases d'épaisseurs plus grandes, qui embrasseront toutes celles où le caractère de transition de l'image E peut être employé avec une sûreté suffisante, comme indice de la déviation actuelle des rayons jaunes moyens.

Pour cela, je reprends l'expression exacte de F_e en ρ et ρ', que nous avons formée page 335; j'y remplace seulement α par $(\rho)e$, pour fixer la position du prisme analyseur conformément à la notation que nous avons tout à l'heure introduite, et en lui conservant son application aux grandes divisions chromatiques du spectre newtonien, j'ai pour chacune de ces divisions, dont I désigne la quantité de lumière propre :

$$F_e = I\left[\frac{1}{2}\left\{1 - \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e}\right\} + \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e} \sin^2\{(\rho - (\rho))e\}\right].$$

Je suppose d'abord que l'épaisseur e, et l'arc $\rho - (\rho)$, sont maintenus, l'un et l'autre, dans les limites de petitesse convenables pour qu'on puisse remplacer, sans erreur appréciable, $\sin^2\{\rho - (\rho)e\}$ par $\frac{\{\rho - (\rho)\}^2 e^2}{R^2}$. D'après ce que nous avons reconnu dans la page 298, cette condition sera remplie si l'arc $\{\rho - (\rho)\}e$ n'excède pas 25°. Maintenant, si nous voulons faire $(\rho) = \rho$, la plus grande valeur de $\rho - (\rho)$, qui sera

$\rho_{u'} - \rho_{,}$, se trouvera, par le tableau de la page 296, égale à 21°,624. Conséquemment l'approximation pourra s'employer à toutes les épaisseurs e moindres que 1^{mm}, et même à celle qui atteindrait cette limite. Ce fait se verra, tout à l'heure, matériellement confirmé.

Avec ces restrictions, l'arc $\rho' e$, propre à chacune des divisions newtoniennes, devient assez petit pour que son sinus puisse être développé en série convergente, comme il suit :

$$\sin \rho' e = \frac{\rho' e}{R} - \frac{1}{6}\frac{\rho'^3 e^3}{R^3} + \frac{1}{120}\frac{\rho'^5 e^5}{R^5} \ldots \text{etc.};$$

et de là on tire

$$R\frac{\sin \rho' e}{\rho' e} = 1 - \frac{1}{6}\frac{\rho'^2 e^2}{R^2} + \frac{1}{120}\frac{\rho'^4 e^4}{R^4} \ldots \text{etc.}$$

La plus grande valeur de ρ' est relative à la division violette. Or, si l'on suppose e égal à 1, le terme en ρ'^2 devient $-0{,}002084$; et, en s'y bornant, l'évaluation approchée qu'on obtient ne diffère de la rigoureuse que par une unité sur la sixième décimale de ce nombre. C'est ce qu'on peut voir en prenant celle-ci dans le tableau de la page 293. Il suffira donc d'arrêter la série à ce terme; et alors on devra le négliger tout à fait dans la dernière partie de la formule, où il affecterait, comme multiplicateur, une quantité, qui est déjà supposée très-petite, du même ordre. On aura ainsi, dans cette condition d'approximation :

$$F_e = \frac{1}{2} I\left[\rho'^2 + (\rho - (\rho))^2\right]\frac{e^2}{R^2},$$

expression qui maintenant se trouvera applicable à toutes les divisions du spectre newtonien.

55. Cette préparation faite, je donne à (ρ) la valeur $\rho_{,} = 23°{,}99385$, qui, d'après le tableau de la page 296, exprime

la déviation millimétrique des rayons jaunes moyens ; puis, prenant dans ce même tableau les valeurs simultanées de ρ et de ρ' qui appartiennent à chacune des divisions du spectre, je calcule successivement les valeurs qui en résultent pour le coefficient de e^2 dans l'expression de F_e, sans omettre la division jaune, pour laquelle ce coefficient se réduit à son terme en ρ'^2. J'obtiens ainsi l'ensemble contenu dans le tableau suivant :

ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DE L'IMAGE EXTRAORDINAIRE E,
qui s'observent à travers les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, dont l'épaisseur *e* est égale ou inférieure à 1mm, lorsque la section principale du prisme analyseur est dirigée dans l'arc de déviation actuel des rayons jaunes moyens.

Division terminale rouge		$F_e^{(r')} = I_{r'} e^2 0,0175181$
Spectre de Newton.	Rouge	$F_e^{(r)} = I_r e^2 0,0078702$
	Orangé	$F_e^{(o)} = I_o e^2 0,0021489$
	Jaune	$F_e^{(j)} = I_j e^2 0,0002875$
	Vert	$F_e^{(v)} = I_v e^2 0,0052745$
	Bleu	$F_e^{(b)} = I_b e^2 0,0215789$
	Indigo	$F_e^{(i)} = I_i e^2 0,0450906$
	Violet	$F_e^{(u)} = I_u e^2 0,0879472$
Division terminale violette		$F_e^{(u')} = I_{u'} e^2 0,1426778$

56. Je préparerai la discussion de ces éléments par deux remarques essentielles. La première, c'est que leur application à toutes les épaisseurs moindres que 1mm sera très-suffisamment exacte; car, en comparant leurs valeurs aux évaluations rigoureuses que je rapporterai tout à l'heure pour

cette limite même, les différences qu'on y découvre sont si petites, que l'œil ne pourrait pas les apprécier, en opérant sur la lumière des nuées polarisée par réflexion sur une glace noire, comme je le suppose toujours. La seconde remarque, c'est que, dans l'appréciation de la teinte résultante E, produite par l'ensemble de tous ces éléments, les quantités de lumière propre fournies par les deux divisions rouges, quoique numériquement exprimées par des fractions très-petites de leur intensité totale, ne peuvent pas être négligées, parce que la vivacité de leur faculté illuminante leur donne une influence au moins égale, sinon supérieure à celle des quantités de lumière provenant des divisions les plus réfrangibles, quoique ces dernières soient exprimées par des fractions beaucoup plus fortes de l'intensité totale de ces divisions. Cela deviendra tout à l'heure manifeste d'après l'expérience même.

57. Considérant donc les expressions de tous ces éléments chromatiques dans leur entière généralité, on reconnaît d'abord manifestement que la partie moyenne du spectre, comprenant les rayons oranges, jaunes et verts, sera de beaucoup la moins abondante dans l'image totale, et que la petitesse relative de ses proportions devra l'y rendre insensible ou à peine sensible, comparativement aux divisions extrêmes. Or, d'après la pratique universelle des coloristes, qui est confirmée en ce point par les expériences de Newton sur les mélanges des couleurs simples, les quantités de lumière rouge et bleue de ces divisions, étant réunies, formeront pour l'œil un violet, lequel, joint aux fractions propres du violet prismatique, devra donner à l'image E une nuance spécialement violette. C'est ce qui est exactement confirmé par

l'observation pour toutes les petites épaisseurs auxquelles notre approximation actuelle s'applique. On ne peut apercevoir, entre ces images, que des dissemblances d'intensité, celles-ci croissant rapidement avec les valeurs de e, ainsi que notre formule l'indique. La présence du violet artificiel, qui se forme par le mélange du rouge avec le bleu et l'indigo dans cette image, se démontre en la décomposant par le prisme. Car, par exemple, à l'épaisseur $0^{mm},492$, ce rouge fourni par la lumière des nuées est parfaitement discernable pour l'œil plongé dans l'obscurité. Cependant, à cette épaisseur, le coefficient numérique de $I_{r'}$ est réduit à 0,004210, et celui de I_r est réduit à 0,001897 ; de sorte que ce sont de si petites fractions des deux divisions rouges que l'on apprécie dans le faisceau réfléchi et restreint par des diaphragmes, dont l'ouverture, dans mon appareil, est seulement de 8^{mm}. Pour définir plus précisément ces conditions de visibilité, j'ai encore limité le diaphragme antérieur par l'interposition d'une fente métallique ayant seulement 1^{mm} de diamètre : alors le faisceau polarisé était un rectangle ayant 1^{mm} de base et 8^{mm} de hauteur. Je l'ai transmis à travers une plaque dont l'épaisseur était $1^{mm},118$, ce qui, à raison de 24° pour 1^{mm}, donnait $26^{\circ},832$ pour l'arc de déviation des rayons jaunes moyens. J'ai donc amené sur cette direction la section principale du prisme analyseur, puis j'ai décomposé simultanément les deux images par un autre prisme à réfraction simple, très-dispersif. Le spectre de E s'est montré tel que nos formules l'indiquent. Le rouge, le violet et le bleu y étaient surtout sensibles, le vert beaucoup moins, quoique perceptible encore; mais il y avait, à la place

du jaune, une intermittence complète qui s'étendait sensiblement à l'orangé.

58. La teinte de l'image ordinaire O, qui accompagne E, se conclut de celle-ci, par la condition que tous ses éléments sont complémentaires de leurs analogues pour chacune des divisions chromatiques auxquelles ils appartiennent; et l'on rend la nature de cette teinte également manifeste, en lui appliquant un artifice de décomposition pareil à celui dont nous avons fait usage dans la page 321. Pour cela, je considère que tous les éléments de F_e ont une expression de cette forme :

$$F_e = Ice^2,$$

ce qui donne

$$F_o = I\{1 - ce^2\}.$$

e est un coefficient numérique différent pour chacun d'eux, et dont la plus grande valeur appartient à la division violette terminale. Donc, si nous représentons ce dernier par $c_{u'}$, l'expression de chaque élément F_o pourra s'écrire de la manière suivante :

$$F_o = I\{1 - c_{u'}e^2 + (c_{u'} - c)e^2\} = I\{1 - c_{u'}e^2\} + I(c_{u'} - c)e^2.$$

Le coefficient $1 - c_{u'}e^2$ sera évidemment positif, puisque notre approximation suppose e généralement moindre que 1; et le facteur $(c_{u'} - c)e^2$ sera aussi positif, puisque $c_{u'}$ surpasse toutes les autres valeurs particulières de c. En effectuant les soustractions qu'exige la formation de ce second facteur, la somme des éléments chromatiques qui composent l'image ordinaire O sera telle qu'il suit :

$$[I_{r'} + I_r + I_o + I_j + I_v + I_b + I_i + I_u + I_{u'}]\{1 - e^2.0,1426778\}$$
$$+ [I_{r'}.0,1251597 + I_r.0,1348076 + I_o.0,1405289 + I_j.0,1423903 + I_v.0,1374033 + I_b.0,1210989 + I_i.0,0975872 + I_u.0,0547306]e^2$$

ou encore

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u+I_{u'}\right]\left\{1-e^2.0{,}1426778\right\}$$
$$+\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i+I_u\right]e^2.0{,}0547306$$
$$+\left[I_{r'}.0{,}0704291+I_r.0{,}0800770+I_o.0{,}0857983+I_j.0{,}0876597+I_v.0{,}0826727+I_b.0{,}0663683+I_i.0{,}0428566\right]e^2.$$

La première ligne formera un blanc parfait très-abondant, à cause de la petitesse du terme en e^2, qui se soustrait de l'unité dans le facteur variable. La seconde composera aussi une petite quantité de blanc, auquel il ne manquera que la proportion correspondante de la division terminale violette, laquelle, n'ayant par elle-même qu'une faculté illuminante très-faible, ne pourra pas y produire un défaut sensible de blancheur par son absence. La coloration de O ne pourra donc provenir que des termes de la troisième ligne. Or, celle-ci contenant encore presque toutes les sortes d'éléments prismatiques, on peut, par un artifice pareil à celui dont nous venons de faire usage, la décomposer en systèmes partiels d'influences colorifiques très-inégales, parmi lesquels il deviendra plus facile de discerner celui qui devra spécialement dominer dans leur ensemble. Pour cela, je l'écris sous la forme suivante :

$$\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b+I_i\right]0{,}0428566\,e^2$$
$$+\left[I_{r'}+I_r+I_o+I_j+I_v+I_b\right]0{,}0235117\,e^2$$
$$+\left[I_{r'}.0{,}0040608+I_r.0{,}0137087+I_o.0{,}0194300+I_j.0{,}0212914+I_v.0{,}0163044\right]e^2.$$

La première de ces nouvelles lignes exprime un blanc d'où l'on a seulement ôté les rayons violets : ce sera donc un blanc tant soit peu jaunâtre. La deuxième exprime encore un blanc d'où l'on a ôté le violet et l'indigo : ce sera donc un blanc un peu plus jaunâtre que le premier. Maintenant, dans la troisième ligne il n'y a plus ni violet, ni indigo, ni bleu ; le

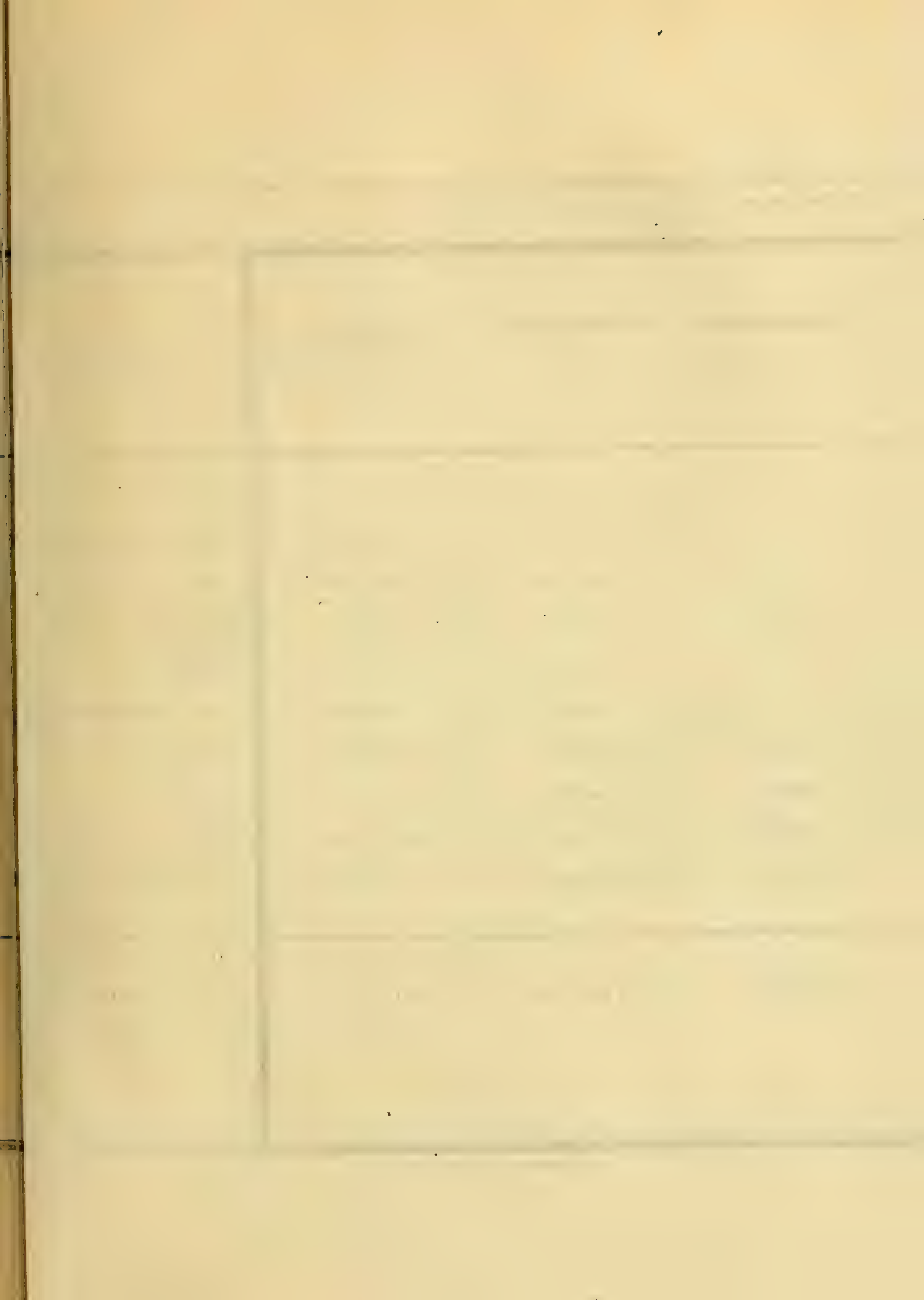


TABLEAU C. — Tableau des intervalles angulaires compris dans les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, entre le plan de polarisation des rayons jaunes moyens, et les plans de polarisation des autres divisions chromatiques du spectre aux épaisseurs de 1, 2, 4, 6, 8 millimètres.

DÉSIGNATION DES DIVISIONS CHROMATIQUES.		ÉPAISSEUR 1mm.	ÉPAISSEUR 2mm.	ÉPAISSEUR 4mm.	ÉPAISSEUR 6mm.	ÉPAISSEUR 8mm.
Division terminale rouge.	$\rho_j - \rho_r$	7°.33'.31"	15°. 7'. 2"	30°.14'. 5"	45°.21'. 7"	60°.28'. 9"
rouge. . . .	$\rho - \rho$	5. 0.35	10. 1.11	20. 2.22	30. 3.33	40. 4.44
Spectre de Newton: orangé	$\rho - \rho$	2.36. 9	5.12.17	10.24.35	15.36.51	20.49. 9
jaune. .		0. 0. 0	0. 0. 0	0. 0. 0	0. 0. 0	0. 0. 0
vert. . . .	$\rho - \rho$	3.57.56	7.55.53	15.51.45	23.47.38	31.43.31
bleu	$\rho - \rho$	8.18.52	16.37.43	33.51.27	49.53.10	66.30.53
indigo.	$\rho - \rho$	12. 8. 0	24.16. 0	48.32. 1	72.48. 1	97. 4. [illegible]
violet.	$\rho - \rho$	16.53.26	33.46.52	67.33.45	101.20.37	135. 7.29
Division terminale violette.	$\rho - \rho$	21.37.27	43.14.54	86.29.48	129.44.4	172.59.36
Valeurs de ρ_j ou ρ_e		23.59.38	47.59.16	95.58.31	143.57.47	191.57. 3

r B.

DÉSI

IONS

ter

le N

ter

Tableau B. — Tableau des éléments chromatiques qui composent l'image ordinaire O, et l'image extraordinaire E, aux épaisseurs de 1, 2, 4, 6, 8 millimètres, lorsque la section principale du prisme analyseur est dirigée suivant l'arc de déviation correspondant du jaune moyen.

DÉSIGNATION des DIVISIONS CHROMATIQUES.		ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DES DEUX IMAGES. Épaisseur $e = 1^{mm}$.		ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DES DEUX IMAGES. Épaisseur $e = 2^{mm}$.		ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DES DEUX IMAGES. Épaisseur $e = 4^{mm}$.		ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DES DEUX IMAGES. Épaisseur $e = 6^{mm}$.		ÉLÉMENTS CHROMATIQUES DES DEUX IMAGES. Épaisseur $e = 8^{mm}$.	
		Image ordinaire O	Image extraordinaire E	Image ordinaire O	Image extraordinaire E	Image ordinaire O	Image extraordinaire E	Image ordinaire O	Image extraordinaire E	Image ordinaire O	Image extraordinaire E
Division terminale	rouge...	$I_{r'}$.0,982609	$I_{r'}$.0,017391	$I_{r'}$.0,931582	$I_{r'}$.0,068418	$I_{r'}$.0,745547	$I_{r'}$.0,254453	$I_{r'}$.0,493908	$I_{r'}$.0,506092	$I_{r'}$.0,246688	$I_{r'}$.0,753312
	rouge...	I_r.0,992166	I_r.0,007834	I_r.0,968875	I_r.0,031125	I_r.0,879835	I_r.0,120165	I_r.0,745094	I_r.0,254906	I_r.0,588031	I_r.0,411969
	orange..	I_o.0,997859	I_o.0,002141	I_o.0,991439	I_o.0,008561	I_o.0,966075	I_o.0,033925	I_o.0,924814	I_o.0,075186	I_o.0,869579	I_o.0,130421
	jaune...	I_j.0,999739	I_j.0,000287	I_j.0,998851	I_j.0,001149	I_j.0,995409	I_j.0,004591	I_j.0,989715	I_j.0,010285	I_j.0,981806	I_j.0,018194
Spectre de Newton	vert.....	I_v.0,994727	I_v.0,005273	I_v.0,979105	I_v.0,020895	I_v.0,918734	I_v.0,081266	I_v.0,825603	I_v.0,174397	I_v.0,709898	I_v.0,290102
	bleu....	I_b.0,978581	I_b.0,021419	I_b.0,916372	I_b.0,083628	I_b.0,695947	I_b.0,304053	I_b.0,418284	I_b.0,581716	I_b.0,181123	I_b.0,818877
	indigo...	I_i.0,955604	I_i.0,044396	I_i.0,830448	I_i.0,169552	I_i.0,438965	I_i.0,561035	I_i.0,094681	I_i.0,905319	I_i.0,030201	I_i.0,969799
	violet...	I_u.0,914718	I_u.0,085282	I_u.0,689263	I_u.0,310747	I_u.0,157380	I_u.0,842620	I_u.0,072533	I_u.0,927467	I_u.0,501898	I_u.0,498102
Division terminale	violette..	$I_{u'}$.0,864037	$I_{u'}$.0,135963	$I_{u'}$.0,540105	$I_{u'}$.0,459895	$I_{u'}$.0,007502	$I_{u'}$.0,992498	$I_{u'}$.0,410350	$I_{u'}$.0,589650	$I_{u'}$.0,970500	$I_{u'}$.0,029500

rouge extrême r' manque presque en totalité, et, avec un peu de rouge plus réfrangible, il y a une proportion dominante de rayons orangés, jaunes et verts. Ce troisième système formera donc pour l'œil un jaune verdâtre, lequel, faiblement modifié et pâli par les deux systèmes de blanc plus ou moins jaunâtres qui l'accompagnent, constituera la nuance dominante de l'image O. La quantité totale de lumière qui compose cette portion colorée de l'image ayant le facteur e^2 commun à tous ses termes, elle conservera constamment sa même nuance à toutes les épaisseurs très-petites que l'approximation embrasse, et son intensité seule croîtra proportionnellement au carré de ces épaisseurs. Mais elle pourra bien n'être appréciable pour l'œil dans aucune de ses phases successives, tant à cause de sa faiblesse propre qu'à cause de la grande quantité de lumière blanche qui s'y mêle, et qu'expriment les deux premières lignes que nous avions d'abord séparées. Tout cela est exactement conforme à l'expérience; car, en opérant sur la lumière blanche des nuées, polarisée par réflexion sur une glace noire, la coloration de l'image O ne devient perceptible, même par soupçon, que vers l'épaisseur de 2^{mm}, ce qui dépasse les limites de notre approximation actuelle; et sa nuance est en effet un jaune verdâtre quand on commence à pouvoir l'apprécier.

59. Cherchons maintenant à prévoir les variations ultérieures qui devront se produire dans les teintes des deux images E, O, à des épaisseurs graduellement plus grandes, en plaçant toujours la section principale du prisme analyseur dans l'arc de déviation actuel $(\rho)e$ des rayons jaunes moyens. Cela exige que l'on donne à (ρ), dans notre formule exacte de la page 352, la valeur constante $23°,99385$, ou approximative-

ment 24°, qui exprime l'arc de déviation du plan de polarisation de ces rayons à travers l'épaisseur de 1^{mm}. Pour saisir l'ensemble et la succession des effets qui devront se manifester dans cette position spéciale du prisme analyseur, il suffit de jeter les yeux sur le tableau B ici annexé; car tous les éléments chromatiques de l'image extraordinaire E, et ceux de l'ordinaire O, qui en est complémentaire, ont été calculés ainsi pour les épaisseurs de 1, 2, 4, 6 et 8 millimètres. Afin d'en rendre la discussion plus claire, on y a joint, dans le tableau C, les valeurs des arcs $\rho - \rho_j$, qui expriment, pour ces mêmes épaisseurs, les angles compris entre le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens, et les plans de polarisation moyens des autres divisions chromatiques du spectre newtonien, complété par les deux divisions terminales rouge et violette, limitées aux raies B et H de Fraunhoffer. Enfin, on y a rapporté aussi les arcs de rotation ρe ou $(\rho)e$ des rayons jaunes moyens, pour rendre manifeste le mouvement du spectre total.

60. Considérons d'abord la composition de l'image E relative à l'épaisseur de 1^{mm}. Les diverses quantités de lumière qui la composent sont, pour chaque division chromatique, exprimées par des fractions presque numériquement égales à celles qui forment les coefficients correspondants de e^2 dans les expressions approchées de la page 354; et les différences de ces deux évaluations ne seraient appréciables à l'œil pour aucune des parties du spectre. Cela signifie que notre expression approchée ne s'écarterait pas encore sensiblement de la vérité, si on l'étendait jusqu'à l'épaisseur $e = 1^{mm}$. De là on peut tout de suite conclure que la teinte de l'image E, calculée pour cette dernière épaisseur, d'après l'évaluation

exacte de ses éléments par la formule rigoureuse, ne différera pas sensiblement de celle que nous avons reconnue lui être propre à toutes les épaisseurs moindres. Elle aura donc pour caractère dominant une nuance spécialement violette, comme nous l'avons alors constaté, et comme l'expérience le confirme.

61. Maintenant, pour apprécier les changements qu'elle devra éprouver aux épaisseurs plus grandes, je divise les valeurs des éléments chromatiques, propres à celle-ci, par le carré de chaque épaisseur, que je restitue en facteur commun à leur ensemble, de sorte qu'il se retrouve le même qu'auparavant. Alors tous les éléments qui composent l'image E aux cinq épaisseurs considérées, étant rassemblés sous cette nouvelle forme, présentent le tableau suivant, que je désigne par la lettre D.

TABLEAU D. — SOMME DES ÉLÉMENTS CHROMATIQUES

qui composent l'image extraordinaire E, lorsque la section principale du prisme analyseur est mise en coïncidence avec le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens.

Épaisseur en millimètres e.	
mm 1	$[I_{r'}.0{,}017391 + I_r.0{,}007834 + I_o.0{,}002141 + I_j.0{,}000287 + I_v.0{,}005273 + I_b.0{,}021419 + I_i.0{,}044396 + I_u.0{,}085282 + I_{u'}.0{,}135963]$
2	$4[I_{r'}.0{,}017105 + I_r.0{,}007781 + I_o.0{,}002140 + I_j.0{,}000287 + I_v.0{,}005224 + I_b.0{,}020907 + I_i.0{,}042388 + I_u.0{,}077687 + I_{u'}.0{,}114974]$
4	$16[I_{r'}.0{,}015903 + I_r.0{,}007530 + I_o.0{,}002120 + I_j.0{,}000287 + I_v.0{,}005079 + I_b.0{,}019003 + I_i.0{,}035065 + I_u.0{,}052664 + I_{u'}.0{,}062031]$
6	$36[I_{r'}.0{,}014058 + I_r.0{,}007081 + I_o.0{,}002089 + I_j.0{,}000285 + I_v.0{,}004844 + I_b.0{,}016159 + I_i.0{,}025148 + I_u.0{,}025763 + I_{u'}.0{,}016379]$
8	$64[I_{r'}.0{,}011770 + I_r.0{,}006437 + I_o.0{,}002038 + I_j.0{,}000284 + I_v.0{,}004533 + I_b.0{,}012795 + I_i.0{,}015153 + I_u.0{,}007783 + I_{u'}.0{,}000461]$

Je compare d'abord la première ligne de ce tableau à

la seconde, ou plutôt à la portion de celle-ci qui est comprise entre les parenthèses. Car le facteur 4, qui est commun à tous ses termes, modifiant leurs valeurs absolues sans changer leurs rapports, n'influe point sur la nature de la teinte formée par leur ensemble, mais seulement sur la quantité totale de lumière qui s'y trouve rassemblée. Considérant donc, dans les deux lignes, les coefficients numériques qui affectent les valeurs homologues de I, nous voyons qu'ils sont tous presque pareils, quoique, généralement, ceux de la deuxième soient un peu plus petits. Toutefois, la différence est à peine sensible pour les divisions du spectre comprises depuis le rouge extrême jusqu'à l'indigo; et elle ne commence à être un peu plus évidente que dans les deux dernières divisions violettes, dont la faculté illuminante propre est la plus faible. Nous verrons tout à l'heure la raison de ce résultat numérique; admettons-le pour le moment comme un fait. Les rapports d'intensité des éléments chromatiques qui composent la teinte de l'image E, à l'épaisseur de 2^{mm}, se trouvant ainsi à peine modifiés par cette commune atténuation, l'effet total produit sur l'œil par leur ensemble devra être sensiblement le même qu'à l'épaisseur de 1^{mm}, à l'intensité près, qui sera plus grande, à cause du facteur commun 4, qui accroît les quantités absolues de lumière propres à tous ces éléments. La teinte de l'image E, à cette épaisseur, devra donc être encore, selon le calcul, un violet composé, et sensiblement le même genre de violet qu'à l'épaisseur de 1^{mm}, si ce n'est que l'image totale sera beaucoup plus lumineuse. Tout cela est minutieusement conforme à l'observation; car, à ces deux degrés d'épaisseur, la nuance violette de E n'offre aucune différence appréciable à l'œil; elle

est seulement bien plus abondante en lumière dans le second cas que dans le premier.

62. L'affaiblissement relatif que présentent ici les coefficients numériques de la deuxième ligne, compris entre les parenthèses, s'accroît progressivement dans les lignes suivantes, où le facteur commun, qu'on en a séparé, est de même proportionnel au carré des épaisseurs. Cela tient surtout au mode de variation du terme $\sin^2 \{\rho - (\rho)\} e$, qui entre dans l'expression des intensités de tous les éléments chromatiques de E, et qui, pour la plupart, y a une influence principale. Si l'arc $\{\rho - (\rho)\} e$ restait toujours très-petit pour chaque valeur fixe de ρ, à laquelle on applique cette expression, le carré de son sinus se maintiendrait à très-peu près proportionnel au carré de l'épaisseur e; ce qui ayant lieu pareillement pour le terme $1 - \frac{R \sin \rho' e}{\rho' e}$, quand e est restreint à de petites valeurs, tous les éléments chromatiques de E resteraient sensiblement dans ce même rapport, et composeraient une image d'une nuance constante. Mais, en jetant les yeux sur le tableau C, on voit que les arcs $\{\rho - (\rho)\} e$ s'écartent bientôt de cette condition de petitesse à mesure que l'épaisseur s'accroît, et leur agrandissement absolu est relativement plus considérable pour les divisions les plus réfrangibles. Or, les carrés de leurs sinus ne croissent pas à beaucoup près dans ce même rapport; car leur progrès se ralentit à mesure que l'arc $\{\rho - (\rho)\} e$ se rapproche de 90°; et ils diminuent, au lieu d'augmenter, quand il a dépassé ce terme. Donc, si l'on divise par les carrés des épaisseurs les valeurs successives des éléments de E, ainsi calculés, comme je l'ai fait dans le tableau D, on doit trouver que les quotients ho-

mologues décroissent progressivement à mesure que l'épaisseur augmente. Et, en outre, ce décroissement doit être relativement plus rapide pour les éléments chromatiques les plus réfrangibles, les arcs $\{\rho - (\rho)\}e$ s'approchant d'autant plus vite de 90°, que la réfrangibilité est plus grande. Tel est aussi l'effet général que présentent les cinq lignes de ce tableau.

63. D'après cela, on peut aisément prévoir les changements de nuance que l'image E devra subir aux diverses épaisseurs qu'on y a considérées. Car d'abord les coefficients numériques, propres aux éléments rouges, orangés, jaunes et verts, conservent entre eux, dans chacune des cinq lignes, des rapports presque constants. Mais le progrès de l'affaiblissement est déjà sensible pour les rayons bleus; il l'est davantage pour les indigos, et plus encore pour les violets, qui, dans la dernière ligne surtout, n'ont plus, entre les parenthèses, que des coefficients dont les valeurs sont à peine sensibles. Ainsi, dans les quatre premières phases d'épaisseur, la teinte résultante de l'image E sera bien toujours un violet, tant à cause de la présence simultanée des rayons rouges et bleus qui s'y trouveront mêlés à peu près dans les mêmes rapports, qu'à cause des portions de violet prismatique qui y seront associées; mais ces derniers s'y trouvant de plus en plus affaiblis à mesure que l'épaisseur augmente, l'influence des éléments moins réfrangibles y deviendra relativement plus forte, et le violet résultant devra paraître progressivement plus rouge, en même temps que plus abondant en lumière. Enfin, dans la dernière ligne, à l'épaisseur de 8^{mm}, la proportion relative du violet prismatique étant presque anéantie, le rouge dominera encore davantage. Alors le grand nombre des rayons violets qui man-

quera dans l'ensemble, compensant en partie l'accroissement des moins réfrangibles, l'augmentation de l'intensité totale de l'image sera ralentie par leur absence, de manière à être beaucoup moins marquée qu'elle ne l'avait été jusque-là. L'observation confirme minutieusement toutes ces conséquences. Lorsqu'on amène la section principale du prisme analyseur dans l'arc de déviation actuel, $(\rho)e$ ou $\rho_{,}e$, propre aux rayons jaunes moyens, comme notre calcul le suppose, la nuance violette, ou plutôt violet bleuâtre, de l'image E ne présente aucune variation distinctement appréciable, même à l'épaisseur de 6^{mm}, quoique la quantité totale de lumière qu'elle renferme se soit jusque-là graduellement accrue avec beaucoup de rapidité. C'est seulement vers l'épaisseur de 8^{mm} que l'on commence à soupçonner, dans ce violet, une nuance plus rouge, avec une intensité dont on ne peut plus apprécier sûrement la constance ou la continuation d'agrandissement.

64. Par une application inverse de ces résultats, la teinte spéciale et presque constante de l'image E, entre ces limites d'épaisseur, servira d'indice pour amener la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens, avec autant ou presque autant de certitude que si l'on observait les déviations de la lumière simple, propre à ces rayons mêmes. Or, en se reportant à la formule analytique, qui exprime les intensités des éléments chromatiques de l'image E pour cette position du prisme, on voit que les valeurs de ces intensités, et par suite la teinte résultante de leur ensemble, n'éprouveraient aucun changement, si les arcs ρ', ρ, (ρ), qui représentent les déplacements des plans de polarisation à travers l'épaisseur de 1^{mm}, étaient

simultanément multipliés par un facteur commun c, qui les changerait en $\rho' c$, ρc, $(\rho) c$, pourvu que l'épaisseur e fût modifiée suivant le rapport inverse, ce qui la changerait en $\frac{e}{c}$. D'après cela, toutes les substances douées de pouvoir rotatoire, qui, à travers une épaisseur donnée, disperseront les plans de polarisation de tous les rayons simples, suivant les mêmes rapports que le cristal de roche, avec la seule différence d'une énergie absolue plus grande ou moindre, devront produire des phénomènes exactement pareils à ceux que nous venons d'analyser. Ainsi, lorsque l'épaisseur de ces milieux sera telle que l'arc de rotation absolu des rayons jaunes moyens n'excède pas 192°, ce qui est la limite à laquelle nous l'avons borné ici pour les plaques de cristal de roche, si l'on amène la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation actuel de ces rayons, l'image extraordinaire E s'y montrera identiquement avec la même nuance violette que dans ces plaques, avec le même progrès d'intensité, et la même tendance à se rougir à mesure que l'épaisseur augmentera, depuis les plus petites valeurs des déviations jusqu'à la plus grande de celles où nous les avons restreintes. Dans toute cette série de phases, les déviations du prisme qui la feront apparaître seront proportionnelles aux épaisseurs, comme si elles appartenaient à une lumière simple; et, pour chaque épaisseur, elles seront les $\frac{30}{23}$ de celle que l'on observerait à travers le verre rouge. Enfin, pour chaque milieu agissant ainsi, l'intensité du pouvoir rotatoire actuel sera à celle du cristal de roche dans le rapport des épaisseurs où l'image E apparaît, avec ces caractères spécifiques, à un même arc de déviation absolu.

65. Cette apparition n'est pas seulement signalée par la nuance de violet bleuâtre que prend alors l'image E; elle l'est aussi, et peut-être même avec plus de délicatesse, par les nuances dominantes de bleu ou de rouge qui se succèdent dans cette image, lorsque la section principale du prisme analyseur n'a pas encore atteint le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens, ou lorsqu'il l'a dépassé : c'est là ce qui m'a fait nommer cette teinte *la teinte de passage;* car elle est spécifiée ainsi par ses annexes, entre des amplitudes d'indétermination très-restreintes, lorsqu'on ne cherche pas à la suivre au delà des bornes de déviation extrêmes que nous lui avons ici assignées. On l'emploiera donc alors très-commodément pour des déterminations courantes, auxquelles la prudence prescrit d'en affecter l'usage, celui du verre rouge étant toujours préférable pour des expériences de recherche, parce qu'il est indépendant des lois particulières que peuvent suivre les déviations des rayons simples.

66. Examinons maintenant quelle devra être, dans ces mêmes positions du prisme analyseur, la teinte propre de l'image ordinaire O, complémentaire de E. Elle est facile à prévoir d'après ce caractère ; car E étant un violet bleuâtre, qui tend progressivement à se rougir, O devra être un jaune verdâtre, tendant progressivement à se verdir. Cette opposition nécessaire se reconnaît avec évidence, en jetant les yeux sur le cercle chromatique de Newton ; car la manière dont il y a réparti les sept divisions chromatiques du spectre étant, comme il le dit lui-même, l'expression générale des résultats que lui ont fournis ses expériences sur le mélange des lumières simples, on peut, avec une entière certitude, la consulter pour ces simples cas d'opposition. Toute-

fois, il ne sera pas inutile de montrer comment on arrive directement aux mêmes conséquences, par la discussion des nombres qui expriment les intensités de tous les éléments chromatiques dont l'image O se compose, et qui sont réunis dans le tableau B, pour les diverses épaisseurs auxquelles nous avons appliqué la formule rigoureuse. A cet effet, il suffit de les subdiviser en systèmes partiels, dont les facultés colorifiques propres soient distinctement appréciables, comme nous l'avons fait pour l'expression analytique relative aux plus petites épaisseurs.

67. J'applique d'abord ce procédé aux images O, données par les épaisseurs 1^{mm}, 2^{mm}, 4^{mm}, parce que le même mode de décomposition peut y être adopté. Je forme ainsi le tableau suivant, dans lequel, par abréviation, j'emploie la lettre B, pour désigner la somme de toutes les quantités de lumières simples qui composent le faisceau blanc total transmis à travers la plaque considérée.

Épaisseur en millimètres e.	SOMME DES ÉLÉMENTS CHROMATIQUES QUI COMPOSENT L'IMAGE ORDINAIRE O, lorsque la section principale du prisme analyseur est mise en coïncidence avec le plan de polarisation des rayons jaunes moyens
1^{mm}	$B.0,864037 + \{B - I_{u'}\}\,0,050681 + \{B - I_u - I_{u'}\}\,0,040886 + \{B - I_t - I_u - I_{u'}\}\,0,022977 + [I_{r'}.0,004228 + I_r.0,013785 + I_o.0,19478 + I_j.0,021358 + \ldots$
2	$B.0,540150 + \{B - I_{u'}\}\,0,149158 + \{B - I_u - I_{u'}\}\,0,141185 + \{B - I_t - I_u - I_{u'}\}\,0,085824 + 4\,[I_{r'}.0,003828 + I_r.0,013151 + I_o.0,018792 + I_j.0,020645 \ldots$
4	$B.0,007502 + \{B - I_{u'}\}\,0,149878 + \{B - I_u - I_{u'}\}\,0,281585 + \{B - I_t - I_u - I_{u'}\}\,0,256982 + 16\,[I_{r'}.0,003100 + I_r.0,011430 + I_o.0,016883 + I_j.0,018716 \ldots$

Ici, comme dans le cas des épaisseurs très-petites, le premier terme de chaque ligne exprime un blanc parfait, dont la quantité va en diminuant, à mesure que l'épaisseur augmente. Les trois termes suivants expriment des blancs plus

ou moins faiblement jaunâtres, dont la quantité va au contraire en croissant avec l'épaisseur. L'ensemble des cinq derniers termes, compris entre les parenthèses carrées, exprime, dans les cinq lignes, un jaune légèrement verdâtre, dont la quantité augmente à peu près comme le carré de l'épaisseur. Ceux-ci donnent évidemment à l'ensemble de chaque image son caractère de coloration, qui sera un jaune pâle verdâtre, plus marqué dans la deuxième ligne que dans la première, et plus marqué encore dans la troisième que dans la deuxième. Tout cela est très-conforme à l'observation; seulement la nuance violette de l'image E étant perçue simultanément avec l'image O, il est présumable qu'elle fortifie, par son contraste, la faible sensation de verdâtre que l'ensemble des éléments de celle-ci est apte à produire par lui-même.

Les deux derniers cas d'épaisseur, 6^{mm} et 8^{mm}, nécessitent un autre mode de décomposition, à cause du retour d'accroissement des rayons violets qui s'y opère. Celui qui m'a paru le plus propre à manifester la teinte dominante de l'image O, est le suivant:

Épaisseur.	COMPOSITION DE L'IMAGE ORDINAIRE O.
6^{mm}	$B.0{,}072533 + \{B - I_u\} 0{,}022148 + \{B - I_l - I_u\}.0{,}315669 + \{B - I_l - I_u - I_{u'}\} 0{,}007934$
	$+ I_{r'}.0{,}075624 + I_r.0{,}326810 + I_o.0{,}506530 + I_j.0{,}571431 + I_v.0{,}407319$
8	$B.0{,}030201 + \{B - I_i\} 0{,}150922 + \{B - I_{r'} - I_o - I_i\}.0{,}065655$
	$+ \qquad + I_r.0{,}341343 + I_o.0{,}622891 + I_j.0{,}735118 + I_v.0{,}463210$

Ce nouveau mode de décomposition décèle encore avec évi-

dence la nature de la teinte des images résultantes. Pour l'épaisseur de 6^{mm}, les termes de la première ligne indiquent une très-petite quantité de blanc parfait, associé à diverses quantités de blanc privé de ses éléments les plus réfrangibles, et devenu ainsi un blanc jaunâtre. Dans la seconde ligne, les éléments qui dominent sont l'orangé, le jaune et le vert. Ce système devra donc produire, dans son ensemble, l'impression d'un jaune verdâtre, plus marqué qu'à 4^{mm}, parce que la proportion de blanc jaunâtre y est moindre. A 8^{mm}, ce blanc jaunâtre de la première ligne est devenu encore moins abondant, et le dernier des termes qui l'expriment l'y montre seulement d'un jaune peut-être un peu plus franc, à cause de l'absence du rouge terminal L_r qui s'en est séparé. L'absence de ce rouge dans la deuxième ligne, à cette même épaisseur, y donne aussi plus de prédominance aux éléments orangés, jaunes et verts. La teinte résultante doit donc encore être ici un jaune verdâtre, d'une nuance seulement un peu plus marquée que le précédent. L'expérience confirme toutes ces prévisions. A ces deux épaisseurs de 6^{mm} et de 8^{mm}, la teinte de l'image O est un jaune verdâtre très-beau et très-coloré, où la sensation du vert est probablement fortifiée par le contraste de l'image E, devenue d'un violet rougeâtre, qui est perçu simultanément.

68. Ayant ainsi complétement défini la composition et la nature des images O, E, pour la position supposée ici au prisme analyseur, en employant, comme seules données, celles qui se déduisent des vitesses de rotation que j'ai attribuées aux plans de polarisation des différents rayons simples, je vais discuter la succession des teintes que la règle de Newton assignerait à ces images, en les composant des seules quantités de lumières diverses comprises dans l'étendue du

E. — Compa

SSEUR
en
MÈTRES.

D

E

O

5mm

E

O

3mm

E

O

TABLEAU E. — Comparaison de la règle de Newton avec l'expérience, aux épaisseurs de 1mm, 6mm et 8mm; la section principale du prisme analyseur étant mise en coïncidence avec le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens.

ÉPAISSEUR en MILLIMÈTRES.	DÉSIGNATION de L'IMAGE.	INDICES ANALYTIQUES QUI LA CARACTÉRISENT. U	Δ	1 — Δ	N	INTERPRÉTATION DE CES INDICES ANALYTIQUES, dans LE CERCLE CHROMATIQUE DE NEWTON.	TEINTE RÉELLE de L'IMAGE OBSERVÉE.
1mm	Extraordinaire E	311°.29'.28",5	0,70092	0,29908	16,0113	Violet, tirant vers l'indigo; tel qu'on le formerait en mêlant 70 parties de ce violet bleuâtre prismatique avec 30 parties de blanc. Image d'une coloration très-décidée, mais très-peu abondante en lumière.	Violet bleuâtre sombre, mais très-décidé, et foncé dans sa coloration.
	Ordinaire. . . O	131°.29'.28",5	0,01749	0,98251	642,3220	Jaune, tirant sur le vert; tel qu'on le formerait en mêlant 17 parties de ce jaune verdâtre prismatique avec 982 parties de blanc. Image d'une coloration excessivement faible, mais très-abondante en lumière.	Blanc très-abondant en lumière, mais d'une coloration tout à fait insensible.
6mm	Extraordinaire E	298°.28'.57",6	0,55586	0,44414	271,233	Indigo touchant à la limite du violet; tel qu'on le formerait en mêlant 56 parties de cet indigo violacé prismatique avec 44 parties de blanc. Image fortement colorée, et abondante en lumière.	Violet vif, peut-être un peu moins bleuâtre que le précédent, et très-abondant en lumière.
	Ordinaire. . . . O	118°.28'.57",6	0,38948	0,61052	387,100	Jaune déviant un peu du jaune moyen vers l'orangé; tel qu'on le formerait en mêlant 39 parties de ce jaune prismatique avec 61 parties de blanc. Image d'une bonne teinte jaune, et très-abondante en lumière.	Jaune verdâtre ou vert jaunâtre très-beau, très-coloré, et fort abondant en lumière.
8mm	Extraordinaire E	281°.8'.35",3	0,42897	0,57103	285,824	Indigo confinant à l'indigo moyen, tel qu'on le formerait en mêlant 43 parties de cet indigo prismatique avec 57 parties de blanc. Image d'une teinte indigo très-franche, et très-abondante en lumière.	Violet vif, peut-être un peu plus blanchâtre que le précédent, mais sensiblement de même teinte, et comme lui très-abondant en lumière.
	Ordinaire. . . O	101°.8'.35",3	0,32907	0,67093	372,509	Jaune déviant très-notablement du jaune moyen vers l'orangé; tel qu'on le formerait en mêlant 33 parties de ce jaune orangé prismatique avec 67 parties de blanc. Image d'une bonne teinte jaune, et abondante en lumière.	Jaune verdâtre ou vert jaunâtre sensiblement pareil au précédent; comme lui très-coloré et très-abondant en lumière.

spectre newtonien. Pour ne pas multiplier inutilement ces calculs, je les ai bornés aux épaisseurs de 1^{mm}, 6^{mm}, 8^{mm}, et j'en ai rassemblé les résultats dans le tableau E ci-joint.

Les indices analytiques qui caractérisent la teinte dominante de chaque image, ainsi que la proportion de lumière qu'elle contient, ont été déterminés par les méthodes décrites dans la section II du présent mémoire, où la règle de Newton a été exposée; et l'interprétation de ces indices a été faite comme je l'ai expliqué alors. Les deux dernières colonnes du tableau présentent la comparaison des résultats théoriques ainsi obtenus, à ceux que donne l'expérience. Si l'on examine d'abord les teintes de l'image extraordinaire E, aux trois épaisseurs considérées, on voit que, pour la plus petite d'entre elles, la règle donne cette teinte violette bleuâtre très-sombre, ce qui se trouve conforme à l'observation; mais, aux épaisseurs plus grandes, la règle fait marcher cette teinte progressivement vers le bleu, tandis que l'observation la fait voir toujours d'un violet vif, qui semblerait plutôt incliner graduellement vers le rouge. Les teintes de l'image ordinaire O offrent, entre le calcul et l'expérience, une opposition de marche correspondante à celle-là. Car d'abord à l'épaisseur la plus petite il y a accord, la règle indiquant un jaune à peine coloré, contenant $\frac{328}{329}$ de toute la lumière transmise à travers la plaque, et l'observation donnant un blanc presque total, sans coloration sensible; mais, aux épaisseurs plus grandes, la règle indique pour O un jaune qui se rapproche progressivement de l'orangé, tandis que l'observation donne un jaune verdâtre très-décidé, dont la nuance se maintient sensiblement constante. Ces discordances entre la règle et l'observation se montrent, dans leur

sens comme dans leur progrès, manifestement conformes à ce que pouvait faire prévoir l'omission, dans cette règle, du violet et du rouge terminal de Fraunhoffer, surtout du rouge, qui est de beaucoup le plus abondant des deux, et le plus vif, dans la lumière blanche venue des nuées, sur laquelle j'ai effectué les expériences que j'ai consignées ici. Car d'abord, ainsi que nous l'avons reconnu déjà, la règle s'écarte très-peu, et même pas sensiblement, de l'observation aux petites épaisseurs, où les plans de polarisation étant encore peu dispersés, l'effet isolé de ce rouge terminal ne se montre pas notablement distinct; mais, à des épaisseurs plus grandes, son plan de polarisation restant en arrière de tous les autres, parce que sa vitesse angulaire de rotation est relativement moindre, son action propre acquiert une influence marquée, surtout si la section principale du prisme analyseur se trouve placée de manière à faire entrer ce rouge en proportion dominante dans l'une des deux images, ou presque en totalité dans l'une d'elles exclusivement à l'autre, surtout si la coloration produite par l'ensemble des autres rayons est faible. Le premier de ces cas se trouve réalisé aux épaisseurs que le tableau B embrasse, lorsque l'on place la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation actuel des rayons jaunes moyens, comme on l'y a supposé. Le second cas s'est présenté à nous à l'épaisseur de $11^{mm},047$, la section principale du prisme analyseur étant mise en coïncidence avec le plan de polarisation primitif, ce qui nous a donné les éléments constitutifs du tableau A. Dans les deux circonstances, la règle de Newton s'est écartée de l'expérience, dans le sens même que l'on pouvait prévoir, d'après l'omission du rouge terminal que son spectre n'embrasse point.

VII.

Nouvelles expériences sur la rotation des plans de polarisation dans les plaques de quartz cristallisé, perpendiculaires à l'axe.

Ces nouvelles expériences ont été faites sur vingt et une plaques taillées bien perpendiculairement à leur axe de cristallisation. Leurs épaisseurs ont toutes été mesurées avec un ancien sphéromètre de Fortin, qui accuse les millièmes de millimètre. Je les ai désignées par les lettres de l'alphabet à mesure qu'elles se sont présentées à moi, et je conserverai cette manière de les distinguer dans ce qui va suivre. En voici le tableau par ordre, divisé en deux séries correspondantes aux deux sens du pouvoir rotatoire. Toutes ont été mises obligeamment à ma disposition par M. Soleil, à l'exception de Z qui m'avait servi anciennement.

PLAQUES opérant la rotation vers la droite de l'observateur.			PLAQUES opérant la rotation vers la gauche de l'observateur.		
Désignation.	Épaisseur en millimètres.		Désignation.	Épaisseur en millimètres.	
A	5,810 mm		B	5,810 mm	
C	7,878		E	7,566	Nuancée d'irrégularités vers un des angles.
D	7,607	Nuancée d'irrégularités vers les angles.	F	6,961	
H	1,488		Z	1,184	
K	0,492		Q	3,767	
L	1,787		R	7,508	
M	2,141				
N	3,169				
P	3,794				
S	0,131				
T	0,090				
U	0,0655				
V	0,0452				
X	1,118				
Y	17,103				

Dans toutes les expériences auxquelles j'ai employé ces plaques, soit individuellement, soit en succession, elles ont été exposées perpendiculairement à un faisceau blanc de la

lumière des nuées polarisé en un sens unique par la réflexion spéculaire, aussi exactement que possible, et reçu à travers d'étroits diaphragmes dans un cabinet obscur, où il parvenait seul à l'œil de l'observateur. Ces conditions sont indispensables pour assurer la régularité des résultats. J'ai toujours pris les plus grands soins pour que l'incidence fût exactement perpendiculaire. Car, pour peu que l'on s'écarte de cette position, les phénomènes rotatoires sont modifiés par le pouvoir polarisant émané de l'axe du cristal, ce qui dénature leurs lois propres. Le défaut de parallélisme des surfaces est aussi fort à craindre, tant par ce motif que par l'inégalité d'épaisseur qui en résulterait dans l'étendue du champ que les diaphragmes embrassent. S'il n'a pas été tout à fait nul dans les plaques de M. Soleil, il était du moins assez faible pour que l'uniformité des teintes observées ne fût pas troublée d'une manière appréciable dans le petit disque circulaire où les images étaient restreintes.

En étudiant, à travers chacune de ces plaques, les teintes des deux images qui se forment lorsque la section principale du prisme analyseur est mise en coïncidence avec le plan de polarisation primitif, on les trouve toutes conformes aux indications générales des figures 2 et 3, rapportées plus haut. Je ne mentionne pas ici les preuves détaillées de cette concordance, parce qu'elles se trouveront naturellement consignées dans les tableaux des expériences que nous aurons plus loin occasion de faire pour un autre but. Je me bornerai seulement ici à faire remarquer qu'aucune de ces plaques ne tombe entre les épaisseurs de 10 et 12 millimètres, où j'ai annoncé que la règle de Newton se trouve surtout en désaccord avec l'observation, quand on veut en déduire les teintes

des images pour la position du prisme analyseur à laquelle s'appliquent les figures 2 et 3.

Les plaques A et B, de pouvoir contraire, se compensent exactement lorsqu'on les expose en succession, sous l'incidence perpendiculaire au faisceau polarisé. M. Soleil les avait amenées à leur égalité d'épaisseur par cette condition de compensation même, en les faisant agir superposées sur son appareil à deux rotations, et constatant qu'elles ne troublaient pas l'identité de ses deux teintes. Aussi ne laissent-elles aucun résidu sensible dévié de la polarisation primitive dans le faisceau blanc transmis à l'œil dans l'obscurité.

Cette exacte restitution de la polarisation primitive pour les rayons de toutes les réfrangibilités, à travers deux plaques d'épaisseur égale et de pouvoir contraire, était un résultat déjà établi par mes anciennes expériences. J'ai voulu savoir si la compensation s'opérerait encore avec la même rigueur et la même généralité, quand on opposerait des systèmes complexes de plaques superposées à des plaques simples, ou à d'autres systèmes complexes. Cela était nécessaire à essayer, pour découvrir si, dans l'introduction successive du faisceau lumineux à travers de pareilles plaques, il n'y aurait pas quelque constante très-petite, soit à ajouter, soit à soustraire. En effet, il est très-vraisemblable que, dans la double réfraction, la bissection des rayons ne commence à s'opérer qu'à une très-petite profondeur dans l'intérieur du corps cristallisé, lorsque la trajectoire produite par la réfraction moléculaire a pris sa direction définitive et rectiligne. L'effet du pouvoir rotatoire, qui dans le cristal de roche n'est point moléculaire, pourrait donc aussi ne commencer à se manifester qu'à une très-petite profondeur, que la succession

multipliée des incidences et des émergences dans les systèmes multiples, aurait été propre à manifester comparativement. Mais on va voir que les expériences n'ont décelé aucune différence que l'on puisse attribuer à cette multiplicité. D'après cela, si la rotation des plans de polarisation dans l'intérieur des plaques de cristal de roche ne commence à être opérée qu'à une certaine profondeur par les couches dont la superposition la produit, cette profondeur est tellement petite, qu'elle échappe à toute appréciation. Dans ces épreuves de compensation, les plaques ont toujours été présentées au faisceau lumineux sous des incidences rigoureusement perpendiculaires, et la section principale du prisme analyseur était mise en coïncidence exacte avec le plan de polarisation primitif.

Première expérience. J'ai formé le système binaire N+P, exerçant la rotation vers la droite, et composé comme il suit :

N épaisseur	$+\ 3^{mm},169$	↗
P	$+\ 3,794$	↗
Système total : N + P	$+\ 6,961$	↗

J'ai opposé à ce système la plaque unique F, exerçant la rotation vers la gauche, et ayant pour épaisseur $6^{m},961$ ↖. La compensation a été parfaite, sans aucune trace appréciable de résidu. Il ne se manifestait donc aucune différence que l'on pût saisir entre les actions rotatoires exercées sur le faisceau lumineux, dans son trajet à travers cette épaisseur continue ou disjointe.

2e *Expérience.* J'ai formé le système quaternaire H+K+L+N

exerçant la rotation vers la droite, et composé comme il suit :

H =	1,488 ↗
K =	0,492
L =	1,787
N =	3,169
Système total H + K + L + N, épaisseur =	+ 6,936 ↗
Je lui oppose la plaque F, épaisseur =	+ 6,961 ↖
Excès d'épaisseur en faveur de la rotation vers la gauche.....	0,025 ↗

La compensation n'est pas rigoureusement parfaite. Elle laisse, dans l'image extraordinaire E, un petit résidu perceptible, de couleur blanc jaunâtre, lequel s'anéantit presque complétement lorsqu'on tourne le prisme analyseur vers la gauche dans l'arc de déviation apparent — 1° ; et comme le zéro réel est à + 1°, cela semblerait indiquer une déviation résultante — 2. Toutefois je remarque que, même dans cet azimuth apparent — 1°, l'image E ne s'évanouit pas complétement ; elle conserve un petit résidu blanc jaunâtre qui persiste. Ce résidu s'affaiblit beaucoup quand on limite le diamètre du faisceau transmis, en le restreignant par un diaphragme plus étroit. Mais alors il se trouve avoir son minimum absolu dans l'azimuth + 1, qui coïncide avec le sens de la polarisation primitive.

Le caractère variable et accidenté de ces résultats montre qu'ils ne peuvent pas être dus à un effet régulier de déviation. Mais, au degré d'excessive faiblesse avec lequel

ils se montrent, on aperçoit aisément plusieurs causes qui seraient capables de les produire : d'abord, quelque petite irrégularité de constitution interne dans les plaques assemblées ; puis, les petites inclinaisons prismatiques de leurs faces, qu'on ne peut presque jamais faire rigoureusement parallèles, ce qui produirait des inégalités d'épaisseur du même ordre dans la section circulaire que traverse le faisceau lumineux circonscrit par les diaphragmes ; peut-être enfin les effets de dépolarisation, opérés aux huit surfaces des plaques assemblées, et que doit y éprouver la portion de la lumière qui échappe à la transmission complète.

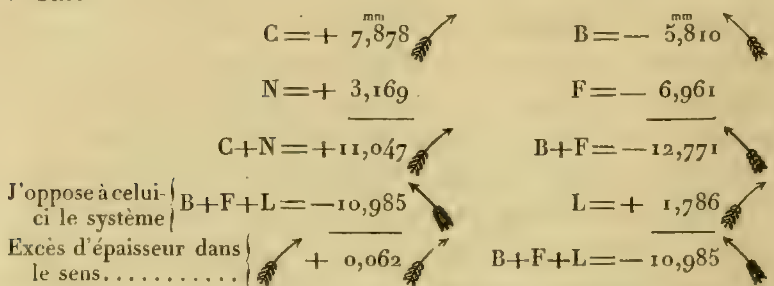
3e *Expérience.* Je forme le système ternaire B + Q + R exerçant la déviation vers la gauche, et composé comme il suit :

B = —	5,810 mm	↖
Q = —	3,767	
R = —	7,508	
Système total, B + Q + R = —	17,085	↖
Je lui oppose la plaque Y = +	17,103	↗
Excédant d'épaisseur dans le sens ↗ +	0,018	↗

La compensation est sensiblement parfaite. L'image extraordinaire E ne conserve qu'un résidu à peine perceptible, lequel s'évanouit complétement quand on restreint les diaphragmes qui circonscrivent le faisceau transmis.

4e *Expérience.* Je forme le système C + N exerçant la rotation vers la droite, et le système B + F + L exerçant la

rotation vers la gauche, l'un et l'autre composés comme il suit :



L'image extraordinaire E qui résulte de cette opposition présente un très-faible résidu, de teinte inégale, mêlé de bleuâtre et de rougeâtre par places, et obscur au centre. On le rend nul pour la plus grande partie en tournant la section principale du prisme dans l'azimuth apparent + 2°; et comme le zéro vrai est à + 1°, cela accuse un excès de déviation vers la droite égal à + 1°. Ce résultat est d'accord, pour le sens, avec l'excédant d'épaisseur. Il lui est tant soit peu inférieur pour la quantité. Car, en comptant 24° de déviation à l'œil nu pour 1 mm, l'excès + 0,mm062 équivaut à + 1°,488. Mais, outre que la fraction de degré qui fait la différence est difficilement appréciable avec sûreté à ce degré de petitesse, la cause régulière qui la produirait est ici mêlée, comme dans les expériences précédentes, avec toutes les causes irrégulières qui concourent à en dénaturer les effets.

Ces épreuves me paraissent suffire pour montrer que si les plans de polarisation ne commencent leurs déplacements rotatoires dans les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, qu'après que les rayons y ont pénétré à une certaine

profondeur, cette profondeur est inappréciable aux observations les plus précises. De sorte que l'on peut calculer les arcs de déviation par somme ou par différence, pour les plaques disjointes, comme si elles formaient une épaisseur continue (*).

(*) Je saisis cette occasion pour corriger une erreur d'énoncé qui existe dans mon Mémoire de 1813, pages 263 et 264, précisément à l'endroit où j'expose ma première expérience de compensation. Elle s'effectuait entre des plaques qui avaient 6 millimètres d'épaisseur. Or, il est dit, page 262, que la section principale étant placée dans l'azimuth 0°, en coïncidence avec le plan de polarisation primitif, elles donnaient l'image *ordinaire* O rouge vif, et l'image *extraordinaire* E vert très-beau. C'est le contraire qui a lieu pour l'épaisseur de 6 millimètres. Il faut donc intervertir ces indications; et, par suite, il faut faire la même inversion dans les titres donnés aux colonnes des tableaux, où l'on a rapporté la série des teintes qui se développent dans les diverses positions du prisme. Cette rectification étant faite, les teintes indiquées dans les deux colonnes des tableaux se trouvent en tout point concordantes à celles que l'on sait aujourd'hui appartenir, dans de pareilles plaques, aux arcs de déviation qui y sont désignés. Par exemple, à 6 millimètres d'épaisseur, la teinte de passage violet bleuâtre de l'image extraordinaire E doit se trouver dans l'azimuth 24°.6 ou 144°. Par conséquent, cette même teinte doit se montrer dans l'image ordinaire O à l'azimuth complémentaire 144°—90° ou 54°. Or, en effet, dans les colonnes interverties, on trouve à 50° de déviation O bleu gris de lin, E jaune légèrement verdâtre. Ainsi, il aurait fallu tourner de 4° de plus pour changer le bleu de O en violet bleuâtre, et avoir, par complément, E jaune verdâtre, conformément aux lois générales reconnues depuis dans ce phénomène. La même inversion d'énoncé se trouve dans mon Traité de Physique, tome IV, pages 521 et 522, où je rapporte la même expérience et les mêmes tableaux, que j'avais extraits de mon Mémoire. Il faut donc y faire les mêmes rectifications, c'est-à-dire substituer, dans les titres des tableaux, le mot *extraordinaire* au mot

J'arrive maintenant aux expériences que j'ai faites pour constater l'interruption que la règle de Newton présente entre les épaisseurs de 10^{mm} et 12^{mm}. Je commence par la première de ces deux limites, où la règle concourt encore sensiblement avec l'observation ; et, pour fixer tous les détails des apparences qui se réalisent dans ce cas ainsi que dans les suivants, je rapporterai en tableaux les séries de teintes que parcourent les deux images, ordinaire, extraordinaire O, E, à mesure que l'on tourne la section principale du prisme analyseur sur un certain nombre de directions angulaires prises dans le premier quadrant. De là on pourra, si l'on veut, déduire la succession de ces teintes pour tous les arcs analogues des trois quadrants suivants, puisque leur développement s'échange, et redevient le même en passant d'une image à l'autre, lorsqu'on transporte la section principale du prisme de l'arc quelconque x à l'arc $90° + x$. Ce mode de description est le même que j'avais employé dans mon Mémoire de 1813.

1re Limite. Je forme le système C + M exerçant la rotation vers la droite, et composé comme il suit :

$$C = + \overset{mm}{7,878} \nearrow$$
$$M = + 2,141$$
$$\text{Système } C + M \ldots = + 10,019 \nearrow$$

Je fixe ce système bien perpendiculairement au faisceau po-

---

ordinaire, et inversement. Ces inadvertances pouvaient aisément échapper à une époque où les lois générales de succession de ces teintes n'étaient pas encore connues.

larisé transmis, après avoir reconnu le point de la division où la section principale du cercle analyseur coïncide avec la direction de la polarisation primitive, ce que je fais également dans chacune des expériences suivantes. Alors je tourne l'index dans le sens de la rotation, en comptant les arcs de déviation à partir de cette position de coïncidence, et je note, sur deux colonnes désignées par O, E, les teintes que présentent les deux images extraordinaires dans les différents arcs, mesurés aussi en degrés sexagésimaux.

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.		TEINTE de l'image extraordinaire E.
Epaisseur ...... $+10,019$; Sens du mouvement du prisme ...... ↗	$+0°$ ↗	Rouge, ayant un soupçon d'orangé.		Vert un peu bleuâtre.
	10	Rouge pourpre, plus jaunâtre.		Vert plus bleuâtre.
Ciel couvert et sombre; pluie	20	Rouge orangé.		Vert bleuâtre ou bleu verdâtre.
	34	Orangé rougeâtre.		Bleu verdâtre.
	43	Jaune orangé presque blanc, un peu rougeâtre.		Bleu très-bon.
	47	Jaune pâle.		Bleu blanchâtre un peu violacé; intensité affaiblie.
	57	Jaune très-pâle, un peu verdâtre.		Bleu violacé pâle, et peu abondant en lumière.
	58	Vert jaunâtre très-pâle.		Bleu violacé très-pâle, presque blanc.
	60	Vert jaunâtre très-pâle.		Bleu violacé, soupçon de rougeâtre.
	62	Vert jaunâtre pâle.		Violet pâle, un peu rougeâtre.
	66	Vert pâle.		Rouge pâle.
	72	Vert plus vif, encore pâle.		Rouge plus vif.
	77	Vert bon, un peu bleuâtre.		Rouge un peu mordoré.
	84	Vert plus vif.		Rouge plus décidé.
	90	Vert un peu bleuâtre.		Rouge, ayant un soupçon d'orangé.

J'ai espacé les observations de manière à marquer les changements des teintes lorsqu'ils devenaient sensibles. Ainsi je les ai fort écartées entre 0° et +20°, parce que le changement de O s'y faisait progressivement, et continûment, du rouge pourpre vers l'orangé, tandis que le vert de E ne faisait que se bleuir. Mais j'ai rapproché les arcs d'observations depuis 57° jusqu'à 66°, parce que, dans cet intervalle, la teinte

de E éprouvait une transition rapide du bleu au rouge, en passant par un violet bleuâtre intermédiaire peu intense en lumière et très-peu coloré, qui répondait à la teinte de passage, comme je le prouverai dans un moment. J'adopterai un ordre de distribution pareil dans toutes les observations qui vont suivre, écartant leurs indications les unes des autres quand les variations des teintes O, E sont lentes et progressives, et les serrant au contraire davantage quand leurs changements sont plus rapides, et plus essentiels à constater.

Au moyen de ce tableau, l'on peut connaître quelles seront les teintes O, E dans une position quelconque du prisme analyseur répondant à l'arc de déviation x. En effet, si cet arc tombe dans le premier quadrant de droite, le tableau donnera immédiatement les teintes O, E qui y correspondent. S'il dépasse 90°, il aura l'une des trois formes suivantes, à côté desquelles j'inscris la règle qui donne les teintes O, E pour chacune d'elles.

VALEURS de l'arc donné x.	Teintes O, E, correspondantes aux valeurs de u.
$90^{\circ} + u$	Échangez les teintes du premier quadrant, correspondantes à la déviation u.
$180 + u$	Mêmes teintes que dans le premier quadrant pour la déviation u.
$270 + u$	Échangez les teintes du premier quadrant, correspondantes à la déviation u.

Par exemple : on demande quelles devraient être les teintes O, E, si l'on détournait le prisme de 6° à gauche du plan de polarisation primitif? Dans un tel cas, l'arc de dé-

viation, compté toujours dans le sens ↗ depuis 0° jusqu'à la circonférence entière, sera 354° ou 270°+84°. *u* sera donc 84°. Alors, en consultant le tableau du premier quadrant, et échangeant les teintes qui y sont marquées pour la déviation 84°, on aura, dans l'azimuth 354° ou —6°, O rouge décidé, E vert vif.

On peut également se proposer le problème inverse : c'est-à-dire, trouver les arcs de déviation où certaines teintes observées dans le premier quadrant se reproduiront dans les autres, soit pour l'une, soit pour l'autre image. On obtient ces arcs par le même principe de succession.

Par exemple, on a ici, dans le premier quadrant, O jaune presque blanc, E bleu très-bon, lorsque l'arc de déviation est +43°. On demande de combien de degrés il faudra tourner le prisme vers la gauche pour que cette même teinte bleue se transporte à l'image ordinaire O, dans le quatrième quadrant? A cet effet, il n'y a qu'à transporter progressivement la déviation primitive +43° dans les quadrants suivants, avec des additions successives de 90°, et l'on aura :

	Déviation résultante.	
Deuxième quadrant...	+ 43° + 90° = + 133°	Teintes échangées.
Troisième quadrant...	+ 43° + 180° = + 223°	Mêmes teintes aux mêmes images.
Quatrième quadrant...	+ 43° + 270° = + 313°	Teintes échangées.

Ainsi, dans l'arc de déviation +313° ou —47°, à gauche de la polarisation primitive, on aura : O bleu très-bon, E jaune pâle presque blanc, identiquement comme dans l'arc de déviation +43°, sauf l'échange des teintes entre les deux images.

Ces transports des teintes autour de la direction de la polarisation primitive sont très-utiles pour faire apprécier exactement les nuances des deux images qui s'observent sur la direction de cette polarisation même, nuances que nos figures générales 2 et 3 désignent telles que les indique la règle de Newton, et dont le caractère absolu est souvent difficile à juger isolément. Ici, par exemple, on voit que l'image O se maintient rouge dans une grande amplitude de déviation à droite et à gauche du plan de polarisation primitif. Cela est déjà évident pour le quadrant de droite. Quant au quadrant de gauche, si l'on y transporte dans O le rouge pâle qui a lieu dans E à $+66^\circ$, on trouve qu'il s'y reproduit dans l'arc de déviation $+66^\circ+270^\circ = +336^\circ$ ou -24°, c'est-à-dire, lorsque le prisme sera détourné de 24° à gauche de l'observateur. D'après cela, le rouge de O, qui se produit sur la direction de la polarisation primitive même, est un terme intermédiaire entre le rouge succédant au bleu vers la gauche, et le rouge tirant à l'orangé vers la droite; de sorte qu'il devra paraître plus ou moins bleuâtre, ou plus ou moins orangé, selon les quantités relatives de ces deux couleurs extrêmes, qui pourront dominer dans la lumière incidente sans altérer sensiblement sa blancheur. Or, en effet, quand le ciel est serein et illuminé par le soleil, je trouve que le rouge de O, qui se forme sur la direction de la polarisation primitive, est un pourpre tirant au rouge violacé, tel que l'indique la règle de Newton, et tel que le marquent nos figures. Mais, par des temps couverts et pluvieux, où le bleu céleste doit être moins abondant dans la lumière incidente, le ton de O, dans la même direction primitive, prend évidemment le caractère d'un

rouge orangé. Je ne m'attache pas ici à caractériser le vert de E qui est complémentaire de ce rouge, parce que le ton propre des verts est très-difficile à juger, lorsqu'on essaye de décider s'ils se rapprochent plus ou moins du bleu ou du jaune; d'autant que l'impression qu'il produit ici sur l'œil est modifiée par le contraste du rouge de O, en présence duquel on le voit.

Dans le tableau extrait de mon Mémoire de 1818, que j'ai cité plus haut, page 334, on trouve les désignations de ces deux teintes O, E, calculées d'après la règle de Newton pour l'épaisseur $10^{mm},124$, à peine différente de celle du système C+M, dont je viens de décrire les effets. Et les résultats de ce calcul sont construits dans nos figures générales 2 et 3. Ils s'accordent avec les deux teintes observées dans le caractère dominant de rouge et de vert qu'ils leur assignent. Mais peut-être font-ils incliner le rouge de O vers le pourpre violacé, plus que ne l'indique l'expérience. Toutefois on ne saurait affirmer que cette faible modification de la nuance observée ne résulte pas d'un effet de contraste, ou de la présence du rouge extrême que Newton a omis, et qui entre déjà presque tout entier dans l'image ordinaire, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec la polarisation primitive, comme nous le supposons. Cette dernière circonstance est rendue manifeste par celle de nos figures coloriées qui représente la distribution des plans de polarisation du spectre newtonien pour l'épaisseur $10^{mm},124^{o}$.

Parcourons maintenant la série des images que le système C+M a présentées dans les diverses positions que l'on a données au prisme analyseur hors du plan de polarisation primitif, et cherchons à y reconnaître, dans l'image extraor-

dinaire E, cette teinte de passage du bleu au rouge qui, dans toutes les plaques d'épaisseurs moindres, coïncide si approximativement avec l'arc de déviation des rayons jaunes moyens. Pour nous aider à la découvrir, rappelons-nous que l'arc de rotation propre à ces rayons à travers une épaisseur de 1^{mm}, est, d'après la longueur de leurs accès, 23°,9938, ou à très-peu près 24°. J'emploierai désormais ce nombre simple, ne pouvant répondre de la différence dans aucune observation. Alors, à travers l'épaisseur actuelle, $10^{mm},019$, il sera proportionnellement 240°,456. Conséquemment, l'image extraordinaire E, où ces rayons moyens manquent, devra se trouver, dans le premier quadrant, sur l'arc supplémentaire 60°,456, ou un peu plus de 60°. Or, c'est précisément à cet arc que l'image E commence à quitter la nuance bleue violacée presque blanche qu'elle avait à des déviations moindres, pour acquérir un soupçon de rouge distinct. De sorte qu'en se guidant sur ce caractère de passage qu'elle conserve, on retrouverait l'arc de déviation des rayons jaunes moyens presque aussi exactement que si on les eût observés isolés de tous les autres. L'expérience seule peut établir la persistance d'une coïncidence si délicate pour des épaisseurs pareilles; car la règle de Newton ne serait probablement pas assez sûre pour fixer exactement une teinte aussi approchante de la blancheur que l'est celle de l'image E, dans le passage que nous considérons. Le mélange complexe des rayons qui la composent alors peut se concevoir en considérant la figure coloriée qui est relative à l'épaisseur $10^{mm},124$, et y supposant la section principale du prisme analyseur dirigée au milieu du jaune. On doit même présumer que le calcul de la teinte E, fait pour ce

cas, s'écarterait notablement de la réalité, à cause de la présence du rouge terminal, que Newton n'a pas fait entrer dans sa règle, et qui précisément se trouverait ici abonder dans l'image E, dont il troublerait l'équilibre. En effet, l'arc de rotation du rouge extrême de Newton étant 17°,4964 pour 1^{mm} d'épaisseur, sa rotation dans l'épaisseur 10^{mm},019 sera proportionnellement 175°,296, et la différence de cet arc à celui du jaune moyen 240°,456 est 65°,160. Pour un tel écart la relation du carré du sinus fait entrer dans l'image extraordinaire E les $\frac{82}{100}$ de la lumière polarisée suivant cette direction. Or, la portion extrême du rouge que Newton n'a pas vue, ayant une rotation moindre, donnera un écart angulaire plus grand encore, de sorte qu'elle entrera en très-grande partie dans l'image E, pour la position du prisme analyseur que nous considérons. Ainsi elle modifiera notablement la teinte calculée de cette image, en la chargeant de rouge, comme nous avons déjà reconnu que cela avait lieu aux épaisseurs de 6^{mm} et de 8^{mm}. Ceci n'est que la continuation des effets que nous avons discutés alors, en analysant l'ensemble de tous les éléments chromatiques qui entrent dans les deux images O, E, quand la section principale du prisme analyseur est ainsi dirigée. Nous allons les voir se prolonger aux épaisseurs plus grandes, en suivant pas à pas le progrès des écarts que la règle de Newton y présente, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif.

Conservant, comme ci-dessus le système C + M, épaisseur + 10^{mm},019 ↗, j'interpose additionnellement la plaque K, épaisseur 0^{mm},492 ↗. Je forme ainsi le système ternaire

C+M+K, dont l'épaisseur totale est $+10^{mm},511$ ↗. Alors l'observation donne les résultats suivants :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.	TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur..... $+10^{mm},511$	0° ↗	Rouge vif.	Vert bleuâtre.
Sens du mouvement du prisme...... ↗	14	Rouge orangé.	Bleu verdâtre.
Ciel partiellement découvert; le soleil brille presque constammment.	34	Orangé rougeâtre.	Bleu très-bon, un peu verdâtre.
	54	Jaune très-pâle, un peu rougeâtre.	Bleu.
	57	Jaune très-pâle.	Bleu plus blanchâtre, intensité moindre.
	61	Jaune très-pâle.	Bleu blanchâtre pâle, un peu violacé.
	67	Jaune pâle presque blanc, un peu verdâtre.	Bleu très-pâle, presque blanc, un peu violacé.
	69	Jaune pâle un peu verdâtre, ou vert jaunâtre pâle.	Violet bleuâtre, soupçon de rougeâtre par le soleil.
	72	Vert jaunâtre.	Rouge bleuâtre pâle.
	74	Vert jaunâtre.	Rouge bleuâtre plus vif.
	76	Vert pâle.	Rouge meilleur.
	80	Vert bleuâtre pâle, ou bleu verdâtre pâle.	Rouge meilleur.
	86	Vert bon un peu bleuâtre.	Rouge vif.
	90	Vert bleuâtre.	Rouge vif.

Ici, comme dans l'expérience précédente, le rouge que présente l'image O dans la direction du plan de polarisation primitif est intermédiaire entre le rouge bleuâtre qui succède au bleu dans le quadrant de gauche, et le rouge orangé qui se voit dans le quadrant de droite. Mais ce rouge bleuâtre de gauche est ici plus rapproché du plan de polarisation primitif;

car il se forme dans l'arc de déviation $+72°-90°$ ou $-18°$, au lieu que dans l'expérience précédente il se formait à peu près semblable dans l'arc de déviation $-24°$. En conséquence le rouge de O, correspondant à l'arc de déviation 0°, a ici un caractère moins distinctement orangé que dans le cas précédent.

Du reste, les teintes des deux images se succèdent dans un ordre semblable à mesure que l'on tourne le prisme analyseur, et elles se reproduisent à peu près pareilles pour des déviations seulement plus grandes de quelques degrés; cela tient au peu d'accroissement d'épaisseur du nouveau système. Mais, comme cela arrive toujours dans les expériences de ce genre, la similitude n'a lieu le plus complétement que dans la phase de transition où l'image E passe du bleu au rouge; c'est aussi ce que l'on remarque en comparant ce tableau au précédent. En outre, conformément à la loi générale de ces phénomènes, le point de transition se trouve ici dans un arc plus éloigné du plan de polarisation primitif. En effet, la plaque K ajoutée au système C+M ayant pour épaisseur $0^{mm},492$, elle accroît l'arc de rotation des rayons jaunes moyens d'une quantité égale à $24°.0,492$, ou $11°,808$; et comme il était déjà de $240°,456$ pour le système C+M seul, sa valeur actuelle doit être $252°,264$. Cela le limite, dans le premier quadrant de droite, à l'arc supplémentaire $72°,264$, ou environ $72°$. Or, nous voyons qu'en effet le passage du bleu au rouge s'opère pour E vers cette déviation. Mais déjà E s'y voit sensiblement rouge, ce qui sera une circonstance à joindre au caractère progressif de la teinte de passage, pour qu'à ces grandes épaisseurs, de même qu'aux plus petites, elle coïn-

cide avec l'arc de déviation propre aux rayons jaunes moyens.

Pour rendre plus manifeste l'influence de la plaque additionnelle K, je la glisse sur son support de manière à pouvoir voir simultanément le système C+M et le système C+K+M. Alors je prends quelques points de comparaison, comme il suit:

ARC DE DÉVIATION.	TEINTES DE L'IMAGE ORDINAIRE O.		TEINTES DE L'IMAGE EXTRAORDINAIRE E.	
	Système C + M.	Système C + M + K.	Système C + M.	Système C + M + K.
0°	Rouge.	Rouge, différence insensible.	Bleu verdâtre ou vert bleuâtre.	Bleu verdâtre ou vert bleuâtre un peu plus pâle.
34	Jaune orangé.	Orange plus rougeât^re	Bleu bon.	Bleu bon, différence insensible.
57	Jaune verdâtre.	Jaune orangé.	Violet rougeâtre.	Bleu.
67	Vert jaunâtre.	Jaune pâle.	Rouge vif.	Violet bleuâtre.
76	Vert pâle.	Jaune verdâtre.	Rouge vif.	Rouge bleuâtre.

A de plus grandes déviations, les teintes redeviennent sensiblement pareilles pour l'œil, dans les deux systèmes. Il faut remarquer, qu'étant vues ainsi ensemble, l'effet de contraste qu'elles produisent dans l'œil peut les faire juger un peu différentes de ce qu'elles paraîtraient étant vues isolément.

A ce nouveau degré d'épaisseur, $10^{mm},511$, la teinte décidément rouge que présente l'image O, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec la direction de la polarisation primitive, s'écarte déjà complétement de la règle de Newton. Car, selon nos figures générales 2 et 3, qui, pour de telles phases d'épaisseur, sont tracées d'après

cette règle, l'image O devrait avoir le caractère d'un violet confinant à l'indigo, très-mêlé de blanc. Or, dans l'observation, le rouge y domine trop évidemment pour coïncider avec cette indication. De même, selon le calcul, la teinte E, complémentaire de ce violet, devrait être un jaune pâle, d'après son opposition diamétrale dans la construction newtonienne; tandis qu'en réalité on la voit vert bleuâtre, comme complément du rouge qu'on observe dans O.

Continuant à accroître graduellement l'épaisseur, je forme le système C+N, exerçant aussi la déviation vers la droite, et composé comme il suit :

$$C = + \overset{mm}{7{,}878} \nearrow$$
$$N = + 3{,}169$$
$$\text{Système résultant... } C + N = 11{,}047 \nearrow$$

Ce cas d'épaisseur est précisément celui que j'ai choisi plus haut comme exemple d'application numérique de la règle de Newton, et pour lequel les résultats du calcul présentent des conditions d'incertitude toutes spéciales. La coordonnée X, qui est un des éléments déterminatifs de la teinte E, y devient nulle ou presque nulle, et incertaine pour son signe comme pour sa valeur. En même temps l'autre coordonnée y prend une valeur absolue très-faible. C'est aussi un des points de nos figures générales 2 et 3, qui a été construit d'après les seules indications calculées. On y voit que, selon ces indications, dans la direction de coïncidence avec le plan de polarisation primitif, attribuée ici au prisme analyseur, la teinte de l'image ordinaire O devrait être un indigo confinant au bleu, et celle de l'image extraordinaire E un orangé confinant au jaune, toutes deux très-mêlées de blanc.

Or, les teintes qui s'observent sont très-différentes de celles-là, quoiqu'elles se rejoignent continûment avec celles que nous avons déjà obtenues dans les épaisseurs un peu plus petites, et avec celles que nous obtiendrons aux épaisseurs un peu plus grandes pour cette même position du prisme analyseur. Voici le tableau des observations, que j'ai étendu exprès à de grands écarts à droite et à gauche du plan de polarisation primitif, afin que l'ordre de mutation des teintes y devînt plus manifeste.

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arcs de déviation, comptés à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.		TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur........ 11mm,047	−39°	Bleu très-bon.		Orangé chaud ou un peu rougeâtre.
Sens du mouvement du prisme :	−19	Bleu blanchâtre.		Jaune pâle blanchâtre.
Vers la gauche....	−11	Bleu presque blanc ou blanc bleuâtre.		Jaune pâle un peu verdâtre.
Vers la droite....	− 9	Blanc violacé, soupçon de rougeâtre.		Jaune verdâtre pâle.
Ciel couvert, sans soleil, mais non pluvieux.	− 5	Rouge bleuâtre ou rose très-peu coloré.		Vert jaunâtre presque blanc.
	0	Rouge bleuâtre rose, plus coloré.		Vert d'eau pâle.
	+ 4	Rouge plus vif.		Vert plus vif.
	12	Rouge déjà un peu orange.		Vert bleuâtre.
	20	Rouge chaud, plus orangé.		Bleu verdâtre.
	30	Orangé rougeâtre.		Bleu un peu verdâtre.
	40	Orangé encore rougeâtre.		Bleu très-bon.
	51	Orangé plus franc.		Bleu très-franc.
	60	Jaune un peu orangé.		Bleu un peu plus pâle, et moins abondt en lumière.
	71	Jaune pâle.		Bleu blanchâtre.
	79	Jaune pâle déjà un peu verdâtre.		Blanc un peu violacé, presque blanc.
	81	Jaune pâle un peu verdâtre.		Blanc violacé, soupçon de rougeâtre.
	85	Vert jaunâtre presque blanc.		Rouge rose ou bleuâtre.
	90	Vert d'eau pâle.		Rouge chaud un peu orangé.

Ici j'ai commencé l'expérience en donnant au prisme un mouvement vers la gauche, afin que l'on pût voir immédiatement le progrès des teintes qui amènent finalement celles

qui se produisent sur la direction même de la polarisation primitive, sans qu'on ait besoin de les retrouver par la condition des échanges qui s'opèrent dans les directions distantes entre elles de 90°. On voit, par la continuation de la série, que ces échanges s'opèrent ainsi très-exactement. Mais toutes les indications rapportées dans le tableau ont été individuellement observées.

En comparant cette série à la précédente, rapportée dans la page 391, et qui a été faite à une épaisseur un peu moindre, on reconnaît que l'image rouge O qui se forme sur la direction de la polarisation primitive est encore intermédiaire entre un rouge bleuâtre qui précède dans le quadrant de gauche, et un rouge orangé subséquent dans le quadrant de droite; mais ce rouge bleuâtre de gauche est encore ici plus rapproché de la polarisation primitive que dans l'expérience faite à l'épaisseur $10^{mm},511$. Cette image rouge O, et sa complémentaire E vert d'eau pâle, qui se montrent sur la direction de la polarisation primitive, discordent toutes deux avec les indications qui se déduisent de la règle de Newton pour l'épaisseur $11^{mm},047$. Car, selon le calcul que nous avons effectué page 335, et conformément à la construction qu'on en avait faite dans les figures générales 2 et 3, cette règle donne pour O un indigo pâle très-mêlé de blanc, confinant au bleu, et pour E un orangé pâle, pareillement mêlé de blanc confinant au jaune. Mais le calcul détaillé que nous avons fait alors, pour ce cas d'épaisseur montre que les éléments des deux teintes déterminées ainsi par la règle de Newton doivent être rendus très-incomplets, par l'omission des deux divisions terminales, rouge et violette, qu'il n'a pas vues, ou auxquelles il

n'a pas eu égard. Car, en jetant les yeux sur la figure coloriée que nous avons construite pour ce cas, ou en consultant les valeurs des arcs de rotation que nous a donnés le calcul, on voit que la division terminale rouge a ses plans de polarisation très-voisins de 180°; de sorte qu'elle entre presque tout entière dans l'image ordinaire, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif. Et la division terminale violette entre aussi alors deux fois plus abondamment dans cette même image que dans l'extraordinaire. Il est donc très-concevable que ces divisions négligées dans la règle de Newton aient une influence marquée sur des teintes aussi pâles que les formeraient ici, selon cette règle, les autres éléments du spectre. Mais une fois que le progrès des épaisseurs les a ainsi dispersées au point de les séparer notablement des autres, on doit s'attendre que la règle de Newton ne devra plus s'accorder, même approximativement, avec l'expérience, que dans des cas spéciaux; par exemple, lorsque les deux divisions omises se répartiront à peu près en même proportion entre les deux images, ou lorsque les autres éléments du spectre formeront à eux seuls des teintes assez décidées pour n'en être pas modifiées sensiblement.

Cherchons maintenant l'arc de rotation propre aux rayons jaunes moyens pour l'épaisseur de notre plaque $e = 11,047$. Cet arc étant de 24° pour une épaisseur de 1^{mm}, il sera ici, proportionnellement, 24°,11,047 ou 265°128. Otant de là 180°, la déviation correspondante dans le premier quadrant de droite sera 85°,128. Or, la teinte E, observée sur cette direction, est un rouge rose ou bleuâtre qui succède aux teintes bleues de E, et forme le passage de ce bleu devenu très-pâle au rouge

vif qui suit immédiatement. En conséquence, si l'on veut suivre jusqu'à cet ordre d'épaisseur la teinte E qui coïncide avec l'arc de rotation des rayons jaunes moyens, il faudra, comme dans les expériences précédentes, ajouter, à son caractère général de passage du bleu au rouge, la condition de la marquer dans la position du prisme, où le rouge de l'image E, qui succède au bleu, commence à faire son apparition.

Continuant à suivre le progrès des épaisseurs, je forme le système C+P, exerçant la déviation vers la droite, et composé comme il suit :

$$C = +\ 7{,}878^{\text{mm}}\ \nearrow$$
$$P = \ \ 3{,}794$$
Système résultant... $C + P = +\ 11{,}672\ \nearrow$

Ce système a été expérimenté comme les précédents, et voici le tableau des observations :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.	TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur .... 11,672 mm	−36°	Bleu très-beau, un peu verdâtre.	Orangé chaud, un peu rougeâtre.
Sens du mouvement du prisme :	−16	Bleu bon, un peu blanchâtre.	Jaune vif, un peu orangé.
Vers la gauche.....	− 4	Bleu pâle, blanchâtre.	Jaune paille.
Vers la droite.....	0	Bleu blanchâtre ou blanc bleuâtre.	Jaune pâle, très-peu coloré.
Ciel assez beau ; le soleil transperce vaguement les nuages.	+ 4	Blanc avec un soupçon de rose.	Blanc avec un soupçon de jaune.
	7	Blanc avec un soupçon de rouge violacé.	Blanc avec un soupçon de jaune.
	10	Blanc rougeâtre d'un rouge bleuâtre.	Blanc avec un soupçon de verdâtre.
	18	Rouge pourpre rose.	Vert d'eau très-pâle.
	35	Rouge pourpre vif.	Vert bleuâtre.
	51	Orangé rougeâtre.	Bleu bon.
	54	Orangé chaud, mais moins rougeâtre.	Bleu bon.
	74	Jaune chaud, un peu orangé.	Bleu bon, un peu blanchâtre.
	86	Jaune paille.	Bleu pâle, blanchâtre.
	90	Jaune pâle, très-peu coloré.	Bleu blanchâtre ou blanc bleuâtre.
	94	Blanc avec un soupçon de jaune.	Blanc avec un soupçon de rose.
	97	Blanc avec un soupçon de jaune.	Blanc avec un soupçon de violacé.
	100	Blanc avec un soupçon de verdâtre.	Blanc rougeâtre, d'un rouge bleuâtre.

Ici, les teintes O, E qui s'observent dans l'arc 0°, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec la direction de la polarisation primitive, commencent à se raccorder avec les indications de la règle de Newton. En effet, en

consultant les figures générales 2 et 3, que nous avons construites par points d'après cette règle, on voit que, pour l'épaisseur actuelle, la condition de continuité assigne à l'image ordinaire O une teinte bleue, et par complément à l'extraordinaire une teinte orangée, toutes deux très-mêlées de blanc. Mais ni l'une ni l'autre courbe ne les indiquent aussi excessivement approchantes du blanc que l'observation les montre. Toutefois, dans l'état de pâleur qu'elles s'accordent à leur attribuer, on conçoit aisément que l'intervention des rayons omis par Newton aux deux extrémités du spectre, puisse suffire pour les rapprocher de la blancheur, jusqu'à y rendre à peine sensible un reste de coloration.

Si nous cherchons ici le lieu de la teinte E qui répond à l'arc de rotation des rayons jaunes moyens, à raison de 24° pour une épaisseur de 1^{mm}, nous trouverons proportionnellement cet arc égal à 280°,128 pour l'épaisseur actuelle $11^{mm},672$. Retranchant de là 180°, pour avoir le lieu correspondant de l'image E dans la demi-circonférence de droite, elle y paraîtra dans l'arc de déviation 100°,128. Nous voyons en effet, d'après notre tableau, que c'est là que s'opère le passage de E du bleu au rouge. Mais, ainsi que cela est déjà arrivé dans les expériences précédentes, la nuance rouge est déjà sensible à cette épaisseur, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation des rayons jaunes moyens. Elle doit même le devenir ici davantage, parce que, d'après les valeurs des arcs $\rho_j\, \rho_r$ rapportées dans le tableau de la page 296, ce plan, à l'épaisseur actuelle, forme un angle presque droit avec le plan de polarisation moyen du rouge terminal; ce qui amène presque tout ce rouge dans l'image extraordinaire, lorsque l'on place la section principale du prisme analyseur dans l'arc $\rho_j e$. J'ai étendu

le tableau des déviations hors des limites du premier quadrant du cercle, afin que l'on pût y trouver, sans calcul, l'indication des teintes dont on avait le plus d'intérêt à discuter la nature propre ou la succession. Mais on aurait pu les conclure de celles qui sont comprises dans le premier quadrant seul, en appliquant à celle-ci les règles de transport expliquées page 385.

Conservant, comme ci-dessus, le système C+P, épaisseur $+11^{mm},672$ ↗, j'interpose additionnellement la plaque K, épaisseur $0^{mm},492$. Je forme ainsi le système ternaire C+P+K, dont l'épaisseur totale est $+12^{mm},164$ ↗ ; alors l'observation donne les résultats suivants :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.	TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur.......... $12^{mm},264$	0 ↗	Bleu de ciel assez beau, mais blanchâtre.	Jaune un peu orangé clair.
Sens du mouvement du prisme :	8	Blanc bleuâtre, presque blanc.	Jaune pâle.
Vers la droite...... ↗	14	Blanc, soupç. de rougeâtre.	Blanc, soupçon de verdâtre.
Ciel assez beau; le soleil brille par intervalles.	19	Blanc rougeâtre rose.	Blanc légèrement verdâtre.
	24	Rose pâle bleuâtre.	Vert pâle jaunâtre.
	34	Rouge orangé vif.	Vert bleuâtre pâle.
	69	Rouge plus orangé, brillant.	Bleu bon, mais légèrement verdâtre.
	75	Orangé très-beau.	Bleu très-bon.
	82	Jaune orangé.	Bleu beau, mais plus clair.
	84	Jaune orangé plus clair.	Bleu plus blanchâtre.
	90°	Jaune un peu orangé clair.	Bleu de ciel assez beau, mais blanchâtre.

Ici les teintes des deux images qu'on observe dans l'arc 0° se retrouvent en concordance sensible avec les indications de la règle de Newton, quant au caractère dominant de bleu et de jaune qu'elle leur attribue et qui les distingue. On peut s'en convaincre en les comparant aux indications données par cette règle, dans les figures 2 et 3, pour une épaisseur à peine différente, dont les résultats peuvent être appliqués à celle-ci par continuité.

Si nous cherchons ici le lieu de la teinte E qui répond à l'arc de rotation des rayons jaunes moyens, à raison de 24° pour une épaisseur de 1^{mm}, nous trouverons proportionnellement cet arc égal à 294°,336 pour l'épaisseur actuelle 12^{mm},264. Retranchant de là 180° pour avoir le lieu correspondant de l'image E dans la demi-circonférence de droite, elle y paraîtra dans l'arc de déviation 114°,336. Conséquemment elle se produira dans l'image O, avec le même caractère et par les mêmes phases de succession, sur l'arc de déviation complémentaire 24°,336. En effet, d'après notre tableau, c'est là que s'opère le passage de O du bleu au rouge ; et la nuance rouge bleuâtre, ou rose, y est déjà sensible, comme nous l'avons remarqué dans les séries qui ont précédé celle-ci.

Pour passer à une épaisseur un peu plus grande, j'enlève la plaque K ; et, conservant le système C+P, j'y ajoute la plaque L, ce qui forme le système résultant C+P+L exerçant la déviation vers la droite, et composé comme il suit :

$$C + P = +\ 11^{mm},672 \nearrow$$
$$4 = +\ 1,787$$
$$\text{Système résultant}\ldots\ C + P + 4 = +\ 13,459 \nearrow$$

Alors l'observation a donné les résultats suivants :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.	TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur......... 13,459 mm	0° ↗	Bleu beau, un peu verdâtre.	Rouge orangé.
Sens du mouvement du prisme :	7	Bleu plus franc, mais blanchâtre.	Orangé rougeâtre.
Vers la droite...... ↗	25	Bleu plus blanchâtre.	Jaune orangé.
Ciel assez beau; le soleil brille par intervalles.	32	Bleu de ciel pâle.	Jaune pâle.
	38	Bleu presque blanc, ou blanc à peine bleuâtre.	Jaune très-pâle, presque blanc.
	42	Blanc sensiblement, avec un soupçon de violacé.	Jaune très-pâle, avec un soupçon de verdâtre.
	50	Blanc rosâtre ou rose blanchâtre.	Vert pâle, presque blanc.
	52	Rose pâle.	Vert pâle, presque blanc, ou blanc à peine verdâtre.
	63	Rouge plus vif, mais encore pâle.	Vert plus vif, mais encore pâle.
	69	Rouge chaud, un peu orang.	Bleu blanchâtre.
	82	Rouge plus vif et plus orangé.	Bleu meilleur.
	87	Rouge encore plus orangé.	Bleu bon.
	90	Rouge orangé.	Bleu bon, un peu verdâtre.

Les deux teintes O, E qui s'observent dans l'arc de déviation 0°, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif, s'accordent encore ici avec les indications de la règle de Newton quant au caractère dominant de bleu verdâtre et de rouge orangé qui leur est propre. Peut-être, le rouge mêlé d'orangé que donne l'observation est-il un peu moins franc que ne l'indiquerait

le calcul. Mais, indépendamment de l'effet des portions extrêmes du spectre dont la règle ne tient pas compte, des teintes formées par des mélanges de rayons aussi complexes que ceux que nous étudions ici ne peuvent vraisemblablement plus être assimilées à aucune nuance du spectre primitif, avec une approximation d'identité où l'œil ne trouve pas de différence sensible. De même qu'en exposant sa construction, Newton nous prévient que les teintes composées qui confineront à la limite commune du rouge extrême et du violet extrême, offriront à l'œil un violet pourpre plus brillant que le simple, il doit y avoir, surtout dans les mélanges complexes, des corrections analogues à faire aux assimilations immédiates que sa règle indiquerait.

Si nous cherchons le lieu de la teinte E qui coïncide avec l'arc de rotation des rayons jaunes moyens, nous aurons ici pour cet arc 24°. 13,459 ou 323°,016. La teinte E, qui y correspond dans la demi-circonférence de droite, se montrera par conséquent dans l'arc 143°,016. Cela amène la même teinte, avec les mêmes phases de variation pour O, dans l'arc complémentaire du premier quadrant 53°,016. En effet, à ce degré de déviation, notre tableau nous montre que l'image O a passé du bleu précédent très-distant au rose pâle, qui devra aussi caractériser la *teinte de passage de* l'image *E*, pour cette épaisseur.

Il n'y aurait évidemment aucune utilité pratique à vouloir la définir pour des épaisseurs plus grandes. Ici même, la transition de nuances qui y conduit est déjà trop lente pour fournir un caractère de fixation suffisamment sûr, auquel on puisse reconnaître la déviation précise qui y correspond. Aussi n'ai-je jamais conseillé de l'employer pour suppléer au

verre rouge, dans les observations courantes, qu'à des épaisseurs beaucoup moindres, où la rapidité de son passage la fait distinguer bien plus nettement. Toutefois je prolongerai encore ici ce genre d'épreuves à deux phases d'épaisseur plus grandes que les précédentes, pour continuer à y éprouver les indications de la règle de Newton avec l'expérience, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif, et pour suivre jusque dans ses dernières nuances les caractères de la teinte complexe que prend l'image extraordinaire sur l'arc de déviation des rayons jaunes moyens.

J'emploie d'abord à cette étude la plaque simple Y, dont l'épaisseur est $17^{mm},103$ ↗. Elle donne les résultats consignés dans le tableau suivant :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.		TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur.........17,103 mm	0° ↗	Orangé rougeâtre, ou plutôt rouge un peu orangé.		Bleu un peu verdâtre.
Sens du mouvement du prisme :	28	Blanc à peine jaunâtre.		Blanc bleuâtre.
Vers la droite...... ↗	36	Blanc à peine jaunâtre.		Blanc sensiblement, à peine bleuâtre ou rougeâtre.
	41	Blanc sensiblement.		Blanc, soupçon de rougeâtre.
	48	Blanc, soupçon de verdâtre.		Blanc un peu rougeâtre.
	50	Blanc un peu verdâtre.		Blanc un peu rougeâtre.
	51	Blanc plus verdâtre.		Blanc plus rougeâtre, ou rouge blanchâtre.
	54	Vert d'eau très-pâle, presque blanc.		Rouge pâle, un peu jaunâtre.
	65	Bleu verdâtre.		Rouge jaunâtre.
	82	Bleu verdâtre, bon.		Orangé rougeâtre.
	84	Bleu pâle, mais meilleur.		Orangé rougeâtre ou rouge orangé.
	90	Bleu bon, encore un peu verdâtre.		Rouge orangé ou orangé rougeâtre.

Ici les deux teintes O, E, qui s'observent dans l'arc de déviation 0°, s'accordent très-bien, dans leur nuance dominante, avec les indications de la règle de Newton. Cela peut se voir en consultant, pour cette épaisseur, nos figures 2 et 3. Car les deux courbes qu'on y a tracées présentent justement des points qui ont été calculés d'après cette règle, pour une épaisseur à peine différente. L'arc de rotation décrit par le plan de polarisation des rayons jaunes moyens, s'obtiendra en multipliant 24° par 17,103. Il sera ainsi égal à 410°,472.

Retranchant donc de là une circonférence complète ou 360°, le reste 50°,472 exprimera l'arc de déviation dans lequel il faut placer la section principale du prisme analyseur pour qu'elle coïncide avec ce plan, et qu'elle donne à l'image E cette teinte intermédiaire succédant au bleu, et précédant le rouge, que nous avons appelée la teinte de passage. Elle la lui donne en effet dans cet arc même, avec ce caractère de transition au rouge naissant que nous lui avons vu constamment conserver. Mais la grande dispersion des plans de polarisation la rend trop indécise, et rend ce passage trop peu précis, pour qu'elle puisse servir comme déterminatif de position, comme dans les épaisseurs moindres, auxquelles nous avons restreint son usage.

Enfin, comme dernier sujet d'expériences, je forme le système ternaire composé des plaques ci-après désignées :

	Y = +	17,103 mm ↗
	N =	3,169
	X =	1,118
Système total...	Y + N + X = +	21,390 ↗

Je dirai dans un moment par quel motif j'ai choisi cette combinaison d'épaisseurs ; mais je commence par rapporter le tableau des teintes que les deux images ont présentées dans les diverses positions du prisme analyseur.

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	Arc de déviation, compté à partir du plan de polarisation primitif.	TEINTE de l'image ordinaire O.	TEINTE de l'image extraordinaire E.
Épaisseur.... 21,390 mm	−27°	Blanc légèrement bleuâtre ou verdâtre.	Rouge pâle ou blanc rougeâtre.
Sens du mouvement du prisme :	15	Blanc légèrement bleuâtre.	Rouge pâle blanchâtre.
Vers la gauche.....	0	Bleu verdâtre pâle.	Jaune rougeâtre ou rouge jaunâtre.
Vers la droite.. ...	+26	Blanc à peine bleuâtre ou verdâtre.	Jaune un peu rougeâtre, pâle, presque blanc.
	40	Blanc, avec un soupçon de rougeâtre.	Blanc, avec un soupçon de bleuâtre.
	52	Blanc, avec un soupçon de rougeâtre.	Blanc, avec un soupçon de bleuâtre.
	63	Blanc à peine rougeâtre.	Blanc légèrement bleuâtre ou verdâtre.
	70	Blanc rougeâtre ou jaunâtre.	Bleu, soupçon de verdâtre.
	75	Rouge jaunâtre pâle.	Bleu verdâtre pâle.
	83	Rouge jaunâtre.	Bleu verdâtre, meilleur que le précédent.
	90	Jaune rougeâtre ou rouge jaunâtre pâle, presque blanc.	Bleu verdâtre pâle.

A cette grande épaisseur, les deux images sont toujours peu colorées, et leurs teintes sont généralement indécises. Le plan de polarisation des rayons jaunes moyens a décrit un arc de rotation total égal à +24°. 21,390, ou +513°,36. Retranchant de là 360°, le reste +153°,36 exprime son écart actuel à partir du plan de polarisation primitif. Donc si la teinte de passage conserve encore ici un caractère discernable, on la verra dans l'image E en amenant l'index du prisme analyseur sur cette direction vers la droite, ou sur la direction supplémentaire —26°64 vers la gauche, ce qui place la section principale du

prisme dans une même situation angulaire, et produit les mêmes images. Aussi la teinte de E se trouve-t-elle alors être un blanc rougeâtre qui succède au bleu verdâtre, et précède le rouge jaunâtre dans le sens de la rotation. Et cette même teinte reparaît dans l'image O avec des caractères pareils, à la déviation complémentaire $-26°,64 + 90°$ ou $+63°,36$, comme en effet notre tableau le montre. Mais ce caractère de transition est la seule particularité qu'on y puisse constater, et elle devient beaucoup trop indécise pour fournir un indice déterminatif de déviation.

J'ai effectué, pour ces deux derniers systèmes, les épreuves de décomposition prismatique que MM. Fizeau et Foucault avaient indiquées, et dont j'ai déjà parlé à la page 257. Je vais expliquer ici le procédé qui m'a paru le plus commode pour les réaliser dans mon appareil, et pour les y observer dans les arcs de déviation où leurs particularités pouvaient offrir le plus d'intérêt.

Prenant donc comme exemple ces deux systèmes, dont les épaisseurs respectives sont $+17^{mm},103$ ↗ et $+21^{mm},390$ ↗, je calcule d'abord, pour chacun d'eux, les arcs de déviations de tous les plans de polarisation qui limitent les diverses divisions homochromatiques, depuis la raie B du rouge, jusqu'à la raie H du violet. Cela se fait au moyen des nombres rapportés dans le tableau de la page 284. Employant alors la lettre A, affectée d'indices pareils, pour représenter les arcs *a* de ce tableau multipliés par chaque épaisseur, j'obtiens leurs valeurs agrandies, dans les deux systèmes, telles qu'on les voit ici rassemblées.

ARCS DE ROTATION PROPRES AUX PLANS DE POLARISATION QUI LIMITENT LES DIVERSES DIVISIONS HOMOCHROMATIQUES A LEUR SORTIE DES SYSTÈMES CONSIDÉRÉS.

	DÉSIGNATION DES RAYONS SIMPLES auxquels appartiennent LES ARCS DE ROTATION CALCULÉS.	Plaque Y. Épaisseur + 17,mm103 ↗	Système Y + N + X. Épaisseur + 21,mm390 ↗
	Commencement du rouge terminal raie B de Fraunhoffer............	$A_B = 262°,941$ ↗	$A_B = 328°,850$ ↗
SPECTRE DE NEWTON.	Rouge extrême de Newton....	$A_r = 299,241$	$A_r = 374,248$
	Limite du rouge et de l'orangé.	$A'_r = 350,174$	$A'_r = 437,888$
	Limite de l'orangé et du jaune.	$A'_o = 381,589$	$A'_o = 477,238$
	Limite du jaune et du vert.....	$A'_j = 439,143$	$A'_j = 549,218$
	Limite du vert et du bleu.....	$A'_v = 513,818$	$A'_v = 642,611$
	Limite du bleu et de l'indigo..	$A'_b = 591,316$	$A'_b = 739,534$
	Limite de l'indigo et du violet.	$A'_i = 644,453$	$A'_i = 805,990$
	Violet extrême de Newton.....	$A'_u = 754,040$	$A'_u = 943,046$
	Fin du violet terminal raie H de Fraunhoffer......................	$A_H = 806,370$	$A_H = 1008,493$

Si l'on se donne l'arc de déviation α dans lequel on veut placer la section principale du prisme analyseur, on peut déjà, d'après ces nombres, définir les rayons qui doivent manquer totalement dans l'une ou l'autre image. Alors ces rayons devront répondre à des intermittences, ou (qu'on me passe le mot) à *des trous noirs*, sur les spectres qu'on obtiendra, en ob-

servant à la fois les deux images, à travers un prisme très-dispersif, dont l'arête sera rendue parallèle à la section principale de l'analyseur, afin que ces spectres s'étendent, en correspondance, sur des lignes distinctes perpendiculaires à cette section. En effet, ayant formé les différences $A-\alpha$ pour chacun des nombres de notre tableau, il n'y a qu'à chercher les points du spectre total, pour lesquels ces différences se trouvent passer par $0^\circ \pm 180^\circ$ ou 360°. Ce seront les lieux des trous qui devront exister dans le spectre de l'image extraordinaire E; on déterminera pareillement les points pour lesquels la différence $A-\alpha$ passe par $\pm 90^\circ$ ou $\pm 270^\circ$. Ce seront les lieux des trous qui devront exister dans le spectre de l'image ordinaire O. L'un et l'autre résultat sera spécial pour la position assignée au prisme analyseur par la valeur de α.

Mais l'application de ce calcul sera singulièrement facilitée et rendue plus instructive, en s'aidant de cercles coloriés, sur le contour desquels on aura marqué la distribution angulaire des plans de polarisation qui limitent les diverses divisions chromatiques, ce qui n'est proprement que construire les valeurs des arcs A, à partir d'un diamètre représentant la direction du plan de polarisation primitif. C'est ce qu'on a fait ici pour les systèmes Y et Y+N+X, de même que dans les autres figures rapportées antérieurement, d'après mon Mémoire de 1818. Ayant donc construit toutes ces figures sur une échelle de même grandeur, faites découper, dans une feuille de métal, une sorte d'étoile à quatre rayons exactement rectangulaires, à pointe effilée, et ayant une longueur égale au demi-diamètre de vos cercles coloriés. Puis, au centre C de l'étoile, faites souder un pivot avec lequel vous percerez ces cercles à leur centre, et qui se

moins

plus d'

plus de

plus de

plus de

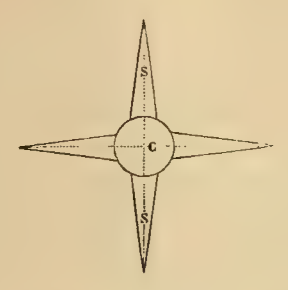
plus de

plus de

plus d

RANG ORDINAL DES TERMES DE LA SÉRIE	AMPLITUDE DE RÉPARTITION embrassée PAR L'ENSEMBLE DES PLANS DE POLARISATION à leur issue de la plaque considérée	NOMBRE D'INTERMITTENCES qui peuvent exister simultanément DANS LES SPECTRES DISPERSÉS DE L'UNE OU DE L'AUTRE IMAGE		LIMITES D'ÉPAISSEUR auxquelles ces divers nombres d'intermittences peuvent s'observer, e_1 DÉSIGNANT L'ÉPAISSEUR pour laquelle l'amplitude de dispersion serait un quadrant exact [illegible] ,8352 log [illegible] 0,15917
		LE PLUS PETIT	LE PLUS GRAND	
1	moins d'un quadrant.	0 dans l'une et 0 dans l'autre . . .	1 dans l'une et 0 dans l'autre . . .	moindre que e_1
2	plus d'un quadrant et moins de deux. . . .	1 dans l'une et 0 dans l'autre . . .	1 dans l'une et 1 dans l'autre . .	plus grande que e_1 et moindre que $2e_1$
3	plus de deux quadrants et moins de trois . .	1 dans l'une et 1 dans l'autre . . .	2 dans l'une et 1 dans l'autre . . .	plus grande que $2e_1$ et moindre que $3e_1$
4	plus de trois quadrants et moins de quatre. . .	2 dans l'une et 1 dans l'autre . . .	2 dans l'une et 2 dans l'autre . .	plus grande que $3e_1$ et moindre que $4e_1$
5	plus de quatre quadrants et moins de cinq. . .	2 dans l'une et 2 dans l'autre . . .	3 dans l'une et 2 dans l'autre . . .	plus grande que $4e_1$ et moindre que $5e_1$
6	plus de cinq quadrants et moins de six. . . .	3 dans l'une et 2 dans l'autre . . .	3 dans l'une et 3 dans l'autre . .	plus grande que $5e_1$ et moindre que $6e_1$
7	plus de six quadrants et moins de sept. . . .	3 dans l'une et 3 dans l'autre . . .	4 dans l'une et 3 dans l'autre .	plus grande que $6e_1$ et moindre que $7e_1$
8	plus de sept quadrants et moins de huit . . .	4 dans l'une et 3 dans l'autre . .	4 dans l'une et 4 dans l'autre . .	plus grande que $7e_1$ et moindre que $8e_1$

fixera par un bouton derrière leur plan. Enfin, sur deux des branches opposées de l'étoile, tracez la lettre S pour désigner la section principale du cercle analyseur, comme je l'ai figuré ici :



Alors, en faisant tourner l'étoile concentriquement, les parties du contour colorié où pointeront les branches SS seront celles où devront se montrer les trous du spectre de l'image extraordinaire E, dans la position assignée à la section principale; et les parties sur lesquelles pointeront les deux branches rectangulaires seront celles où devront paraître les trous de l'image ordinaire O, pour cette même position. Afin de les voir nettement, je restreins le faisceau polarisé, en y interposant normalement un diaphragme percé à son centre d'une fente étroite, et qui tourne dans son propre plan, de manière qu'on puisse toujours aligner la fente sur la direction actuelle de la section principale du prisme analyseur. Le prisme dispersif qui sert ensuite pour réfracter séparément les deux images est amené derrière celui-là par un bras tournant qui l'attache à l'alidade du cercle divisé, et permet de lui donner deux mouvements de rotation rectangulaires, par le secours desquels on le place dans le trajet du faisceau transmis, ou on l'en retire, selon que l'on veut, ou

que l'on ne veut pas s'en servir. Le nombre des trous qui peuvent apparaître isolément ou simultanément, dans les spectres perçus à travers une même plaque, est toujours compris entre des limites dépendantes du nombre de quadrants, sur lesquels la totalité des plans de polarisation se trouve répartie. Cela résulte de ce que les points du contour colorié où les pointes de l'étoile peuvent aboutir, sont nécessairement séparés par un ou plusieurs quadrants complets. On peut aisément, d'après cette condition, prévoir la possibilité de leur existence et de leur multiplicité, plus ou moins nombreuse. Le tableau placé ici, en regard de la page 413, montre les premiers termes de leur succession ainsi définie, et l'on pourra l'étendre aussi loin que l'on voudra par les mêmes considérations.

En se guidant sur les quatre premières lignes de ce tableau, on peut calculer tout de suite les deux nombres extrêmes d'intermittences, c'est-à-dire, le plus petit et le plus grand que l'on puisse observer à travers une plaque d'épaisseur donnée, sans avoir besoin de passer par les termes intermédiaires de la série. Pour cela, il suffit de remarquer qu'une amplitude de dispersion égale à 1 circonférence complète donne *nécessairement* 2 intermittences dans chaque image, quelle que soit la position de la section principale du prisme analyseur; et si l'amplitude est égale à un nombre quelconque n de circonférences, le nombre des intermittences nécessaires de chaque image est évidemment $2n$. C'est pourquoi je n'ai pas mentionné dans le tableau ces cas de circonférences rigoureusement complètes, qui ne se réaliseront jamais sans fraction; et, par le même motif, je n'ai pas spécifié non plus, dans la dernière colonne du tableau, les limites d'épaisseur qui se

trouveraient y correspondre. Ces cas exceptés, soit P l'épaisseur de la plaque proposée, que je suppose exprimée en parties du millimètre; et admettons que le faisceau polarisé, sur lequel on opère, contient toutes les espèces de rayons lumineux compris entre les raies B, H de Fraunhoffer. Alors, d'après le tableau de la page 284, l'amplitude totale de dispersion des plans de polarisation, pour une épaisseur 1 millimètre, est 31°,7738. En multipliant ce nombre par P, le produit exprimera l'amplitude actuelle X, propre à la plaque considérée. Cela fait, on divisera X par 360° ou C, pour en extraire le nombre n de circonférences complètes qu'il pourra contenir, lequel sera donné par la partie entière du quotient; et, en représentant le reste par R, l'amplitude X sera ainsi décomposée en nC + R. Alors l'arc R étant moindre qu'une circonférence complète, se trouvera nécessairement compris dans une des quatre premières lignes de notre tableau. On prendra, sur cette ligne, les nombres d'intermittences écrits dans la troisième et la quatrième colonne; puis on ajoutera à chacun $2n$. La somme exprimera le plus petit et le plus grand nombre d'intermittences que l'on puisse observer, isolément ou simultanément, dans l'une ou l'autre image, à travers l'épaisseur donnée P.

On arrivera aux mêmes résultats, et par un calcul encore plus simple, en se fondant sur les indications contenues dans la dernière colonne de notre tableau. L'épaisseur e_1, dont les multiples entiers y servent de terme de transition, pour passer de chaque ligne à la ligne suivante, a été obtenue en divisant 90° par 31°,7738. C'est donc l'épaisseur à travers laquelle l'amplitude totale de dispersion du spectre, compris entre les raies B, H de Fraunhoffer, est égale à un quadrant exact.

Cela posé, l'épaisseur P étant donnée, on retranchera de son logarithme celui de e_1; et, repassant aux nombres, on aura P sous la forme Ke_1, où K sera généralement composé d'unités entières, suivies de décimales. Alors on extraira du nombre K les multiples de 4 qui peuvent y être contenus, ce qui le mettra sous la forme $4n+r$. Chaque unité de n répondra à une circonférence complète, donnant lieu à deux intermittences nécessaires; de sorte que le nombre total de celles-ci sera $2n$. Alors le reste r, répondant à la portion d'épaisseur re_1, qui complète P, se trouvera nécessairement compris dans une des quatre premières lignes de la dernière colonne. On ajoutera donc $2n$ aux nombres écrits dans cette ligne, et l'on aura le nombre total d'intermittences qui peuvent s'observer à travers la plaque dont l'épaisseur est P.

Prenons comme exemple la plaque Y, et le système Y+N+X, dont les épaisseurs respectives sont 17^mm,103 et 21^mm,390. En les transformant en multiples de e_1, par l'application des logarithmes, comme je viens de le dire, on trouve :

$$\text{Plaque } Y = 6{,}03808e_1 = 4e_1 + 2{,}03808e_1$$
$$\text{Système } Y+N+X = 7{,}55157e_1 = 4e_1 + 3{,}55157e_1$$

Pour l'une comme pour l'autre, le multiple entier n, est 1, ce qui donne deux intermittences nécessaires. Quant aux restes re_1, celui de Y répond à la troisième ligne de la dernière colonne du tableau, et celui de Y+N+X à la quatrième. Ajoutant donc deux unités aux nombres d'intermittences inscrits dans ces lignes, on aura en résultat:

	NOMBRE TOTAL D'INTERMITTENCES qui peuvent exister simultanément dans les spectres dispersés de l'une et l'autre image.	
	LE PLUS PETIT.	LE PLUS GRAND.
Plaque Y = $17^{mm},103$	3 dans l'une et 3 dans l'autre.	4 dans l'une et 3 dans l'autre.
Système Y + N + X = 21,390	4 dans l'une et 3 dans l'autre.	4 dans l'une et 4 dans l'autre.

Ces nombres sont conformes à ceux que présentent la septième et la huitième ligne du tableau, que l'on a étendu exprès jusqu'aux multiples de e_1, qui embrassent les deux épaisseurs considérées, afin d'offrir cette vérification matérielle de la règle.

Si, dans l'application de l'une ou de l'autre méthode, le reste R, ou re_1, se trouvait exactement nul, ce qui est un cas idéal, le nombre total des intermittences, pour l'une comme pour l'autre image, serait invariable et égal à $2n$, n désignant le multiple entier de C ou de $4e_1$, que contiendrait l'amplitude ou l'épaisseur proposée.

La même règle donnera les limites analogues relatives à chacune des divisions homochromatiques que l'on voudrait considérer à part. Il suffit de l'appliquer à l'amplitude X, sur laquelle les plans de polarisation qui la limitent se trouvent actuellement répartis. Par exemple, si l'on forme les différences des valeurs consécutives de A dans la colonne du tableau de la page 411 qui est relative à la plaque Y, elles exprimeront ces amplitudes pour toutes les divisions homochromatiques dans l'épaisseur $17^{mm},103$ qui lui est propre.

Or une seule, celle de la division violette du spectre newtonien, embrasse plus d'un, et moins de deux, quadrants, étant égale à 109°,587 ; toutes les autres sont moindres qu'un quadrant complet. Celle-là sera donc, et sera seule, dans la condition exprimée par la seconde ligne du tableau inséré à la page 413. C'est-à-dire qu'on pourra disposer la section principale du prisme analyseur de manière à y produire simultanément une intermittence dans chaque image; et l'on y parviendra en amenant cette section principale vers le commencement ou la fin de l'arc $A'_u - A'_i$, à toute distance de ses extrémités qui n'excédera pas 19°,5870. Mais toutes les autres divisions du spectre, ayant leurs plans de polarisation propres répartis sur moins d'un quadrant, seront dans le cas de la première ligne de notre tableau. Conséquemment, de quelque manière qu'on dispose le prisme analyseur, on pourra seulement y obtenir une intermittence dans l'une ou dans l'autre image; jamais dans les deux à la fois.

Considérons, sous le même point de vue, les nombres de la page 411, qui sont propres au système Y+N+X, dont l'épaisseur est 21^{mm},390 ; et cherchons quelles divisions chromatiques pourront y admettre simultanément une intermittence dans l'une et l'autre image. Nous trouverons que cette possibilité aura lieu pour les seules divisions verte, bleue et violette du spectre newtonien. En effet, leurs amplitudes de dispersion seront respectivement :

$$A'_v - A'_j = 93°,393 ;\quad A'_b - A'_v = 96°,923 ;\quad A'_u - A'_i = 137°,056.$$

Ces arcs étant plus grands qu'un quadrant, et moindres que deux, rentrent dans la condition exprimée par la seconde ligne de notre tableau. Ainsi, ils comportent indivi-

duellement les nombres d'intermittences qui y sont inscrits.

Ce même système offre, pour l'observation, une particularité remarquable, dont la prévision est rendue sensible par la figure coloriée qui s'y rapporte. Lorsque la section principale du prisme analyseur est rendue coïncidente avec le plan de polarisation primitif, on voit qu'elle traverse la division terminale rouge qui précède le rouge newtonien. Il doit donc se produire alors une intermittence dans ce rouge, et c'est en effet ce qu'on observe. Mais on voit aussi, par la figure, que le commencement de ce même rouge, qui confine à la raie B, a ses plans de polarisation notablement écartés de cette direction. D'après cela, on peut présumer que cet écart sera assez grand pour que les éléments les moins réfrangibles entrent en proportion perceptible dans l'image extraordinaire qui se produit lorsque le prisme analyseur est ainsi dirigé. C'est en effet ce qui arrive encore; car l'intermittence dont il s'agit se voit très-distinctement bornée de ce côté par un petit filet d'un rouge sombre, qui appartient nécessairement au rouge dont il s'agit.

En général, l'expérience m'a toujours paru conforme aux prévisions déduites des nombres, tant pour ces deux derniers systèmes que pour les systèmes plus minces. Les intermittences qu'on y observait se sont toujours trouvées placées comme l'indiquait le calcul, d'après la position donnée à la section principale du prisme analyseur, parmi les plans de polarisation dispersés. Ces épreuves, dans leur latitude d'indétermination inévitable, vérifient donc les valeurs que j'ai attribuées aux rotations, tant absolues que relatives, des plans de polarisation propres aux divers rayons simples. Mais les confirmations qu'elles en donnent sont nécessairement

bornées par les conditions de visibilité que j'ai expliquées dans la page 259.

J'ai dit alors qu'on ne pourrait pas espérer d'obtenir par ce genre de phénomènes des vérifications plus sûres, en cherchant à multiplier beaucoup les intermittences, pour les resserrer individuellement dans des amplitudes moindres, dont la finesse offrirait des indices précis de direction. En effet, pour obtenir ce résultat, il faudrait donner aux plaques observées des épaisseurs si grandes, que l'on devrait justement alors redouter les graves erreurs qui pourraient être produites par le défaut d'exacte continuité du cristal, et par l'influence qu'aurait le moindre défaut dans le parallélisme de leurs surfaces, dans leur rectangularité sur l'axe, ou dans leur perpendicularité aux rayons incidents qu'on y transmettrait. Comme exemple de pareils cas, supposons seulement que l'on voulût obtenir deux intermittences constantes dans la division rouge du spectre newtonien, quelle que fût la position du prisme analyseur; cela exigera que les plans de polarisation propres à cette division soient répartis dans une amplitude angulaire qui embrasse 360°. Or, d'après le tableau de la page 284, à travers l'épaisseur de 1^{mm}, cette amplitude est 2°,9752. Si l'on veut qu'elle s'élève à 360°, il faudra, par proportion, que l'épaisseur devienne égale à $\frac{360}{2,9752}$ ou $121^{mm},000$; et si l'on veut agrandir davantage les couples des intermittences dans la même division, il faudra faire croître l'épaisseur proportionnellement à ce nombre. Or déjà, l'évaluation à laquelle deux seulement nous conduisent, tombe dans les diverses conditions d'incertitude que je viens de signaler.

Et pourtant cette épaisseur, déjà si considérable, ne don-

nera encore, dans l'étendue totale des spectres, que des nombres d'intermittences assez restreints. En effet, si on la transforme en multiples de e_1, par la seconde règle que j'ai donnée, on trouve :

$$121^{mm},000 = 42,7181 e_1 = 40 e_1 + 2,7181 e_1.$$

Le multiple de $4e'$ étant 10, indique 20 intermittences constantes. Le reste qui s'y ajoute rentre dans les conditions de la troisième ligne de notre tableau. Ajoutant donc 20 unités aux nombres qui y sont inscrits, on aura pour l'épaisseur assignée $121^{mm},000$:

Le plus petit nombre d'intermittences simultanément observables.............	21 dans l'une des images,	et 21 dans l'autre.
Le plus grand.........................	22 dans l'une	et 21 dans l'autre.

Indépendamment des incertitudes attachées à une épaisseur déjà si grande, une pareille énumération ne pourrait pas se faire avec assez de sûreté dans mon appareil, surtout pour les portions les plus réfrangibles des deux spectres. Mais en prenant beaucoup de précaution pour assurer le parallélisme des surfaces et la perpendicularité des incidences, peut-être, si l'on avait un canon de cristal de roche bien pur de cette longueur, deviendrait-elle exécutable sur des spectres formés par une lumière très-intense, et projetés sur des tableaux blancs très-éloignés.

Pour rassembler dans une série continue toutes les phases de coloration que l'on peut observer à travers les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, quand la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif, j'ai employé un compensateur à épaisseur variable, construit par M. Soleil, en agrandissant l'amplitude de son action par l'addition successive de pla-

ques agissant dans le même sens, dont les épaisseurs étaient mesurées au sphéromètre, de manière à étendre les observations jusqu'aux dernières limites où les couleurs des images qui se forment dans cette portion du prisme analyseur peuvent suffisamment s'apprécier. Les résultats ainsi obtenus sont réunis dans le tableau placé en regard de cette page; et l'on pourra en comparer les indications à celles de nos figures 2 et 3, qui ont été construites d'après la règle de Newton, pour cette même position spéciale du prisme analyseur. J'ai marqué par un astérisque * les termes de la série à chacun desquels il a fallu fortifier l'action de l'appareil par l'interposition d'une plaque additionnelle, pour l'étendre à des épaisseurs qu'il n'aurait pas pu atteindre sans cet artifice; ce que je n'ai fait qu'en prenant soin de vérifier expérimentalement l'exacte identité des images obtenues avec et sans la nouvelle plaque, dans le voisinage du terme où le gement s'opérait.

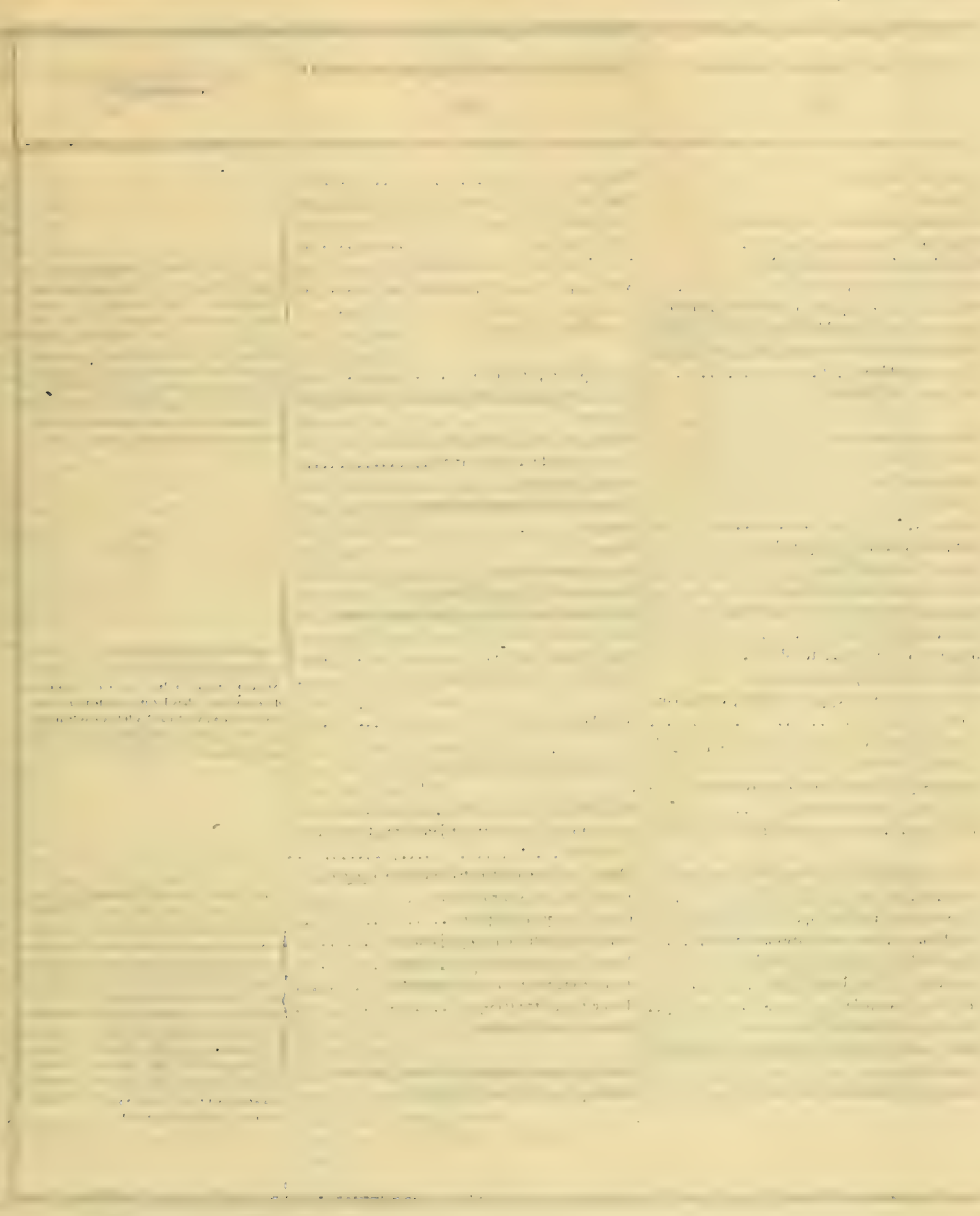


Tableau F. — Tableau présentant toute la succession des teintes des images ordinaire, extraordinaire O, E, qui s'observent à travers les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, lorsque la section principale du prisme analyseur coïncide avec le plan de polarisation primitif.

Épaisseur en millimètres.	Teinte de l'image ordinaire O.	Teinte de l'image extraordinaire E.	Remarques.
mm 0,0	Blanc total	Nulle	
0,1	Blanc sensiblement	Bleu blanchâtre, intensité très-faible	
0,2	Blanc sensiblement	Bleu blanchâtre plus abondant	
0,3	Blanc sensiblement	Bleu blanchâtre, *id.*	
[illegible]	Blanc, soupçon de jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	
[illegible]	Blanc, soupçon de jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	Dans tout cet intervalle d'épaisseur compris entre 0mm et 3mm, les teintes et les intensités des deux images suivent minutieusement la marche progressive que la règle de Newton leur assigne, et qui est indiquée par les courbes tracées figures 2 et [illegible]. L'image E, d'abord d'un bleu pâle, et très-faible en lumière, commence par augmenter continuellement [illegible] intensité [illegible] en conservant à peu près cette même nuance. Mais en même temps qu'elle devient plus lumineuse [illegible] du blanc bleuâtre à un blanc verdâtre, à peine distinct du blanc parfait. Les variations de l'image O correspondent à celles-là en suivant des phases complémentaires. D'abord blanche et contenant toute la lumière transmise, elle se colore progressivement en jaune pâle, puis en jaune, en orangé et enfin en rouge, à mesure que son intensité s'affaiblit.
[illegible]	Blanc, soupçon de jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	
0,7	Blanc, soupçon de jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	
0,8	Blanc perceptiblement jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	
0,9	Blanc perceptiblement jaunâtre	Bleu blanchâtre, *id.*	
1,0	Blanc perceptiblement jaunâtre	Bleu plus blanchâtre et plus abondant	
[illegible]	Blanc perceptiblement jaunâtre	Bleu plus blanchâtre, *id.*	
[illegible]	[illegible] jaunâtre	Bleu plus blanchâtre	
[illegible]	[illegible]	Bleu plus blanchâtre	
[illegible]	Jaune plus [illegible] et plus foncé	Bleu plus blanchâtre ou blanc bleuâtre	
	Jaune plus [illegible] et plus foncé	Bleu plus blanchâtre ou blanc moins bleuâtre	
1,6	Jaune commençant à s'oranger	Bleu plus blanchâtre ou blanc moins bleuâtre	
1,7	Jaune continuant à s'oranger	Blanc moins bleuâtre	
1,8	Jaune orangé décidé	Blanc moins bleuâtre	
1,9	Jaune orangé plus foncé	Blanc moins bleuâtre	
2,0	Jaune orangé plus foncé	Blanc moins bleuâtre	
2,1	Jaune orangé très-bon	Blanc très-peu bleuâtre	
[illegible]	Jaune plus orangé ou orangé jaunâtre	Blanc à peine bleuâtre	
[illegible]	Orangé brillant	Blanc à peine bleuâtre	
2,5	Orangé chaud et vif	Blanc à peine bleuâtre	
2,7	Orangé commençant à rougir	Blanc à peine bleuâtre	
2,8	Orangé sensiblement rougeâtre	Blanc à peine bleuâtre, à peine coloré	
3,0	Rouge orangé	Blanc soupçon de verdâtre, à peine coloré	
3,1	Rouge mordoré vif	Vert pâle blanchâtre	
3,3	Rouge pourpre	Vert pâle blanchâtre	
3,4	Rouge violacé	Vert pâle presque blanc	
3,75	Violet bleuâtre très-vif et net; le maximum de pureté de O est vers cette limite	Jaune pâle, peut-être un peu verdâtre	Dans tout cet intervalle d'épaisseur, les teintes des deux images continuent de suivre avec fidélité les indications de la règle de Newton, et sont toujours conformes aux caractères que leur assignent les figures 2 et 3. A l'épaisseur de 3mm,75 le plan de polarisation des rayons jaunes moyens a tourné [illegible] ce qui amène la teinte de passage [illegible] dans l'image O, comme aussi l'intervalle [illegible] l'y montre alors. A l'épaisseur double, c'est-à-dire de 7mm,5, ce même plan a tourné de 180 degrés, ce qui amène la teinte de passage dans E avec son caractère presque constant de nuance, ce qui est encore conforme aux indications de notre tableau.
4,0	Indigo un peu violacé	Jaune très-bon	
[illegible]	Bleu très-beau	Jaune brillant	
[illegible]	Bleu plus pâle ou moins franc	Jaune plus orangé ou orangé; couleur très-vive	
[illegible]	Bleu un peu verdâtre, bon, mais peu vif	Orangé très-chaud	
6,0	Vert bleuâtre un peu pâle	Rouge orangé chaud	
[illegible]	Vert un peu blanchâtre	Rouge mordoré vif	
[illegible]	Vert pâle un peu jaunâtre ou jaune verdâtre	Rouge pourpre, peut-être un peu violacé	
[illegible]	Jaune verdâtre	Violet bleuâtre bon	
[illegible]	Jaune paille foncé, un peu pâle	Bleu un peu violacé, peut-être indigo violacé	
8,5	Orangé rougeâtre	Bleu un peu verdâtre	
8,75	Orangé plus rougeâtre ou rouge orangé	Bleu un peu verdâtre très-bon	
9,0	Rouge un peu orangé, couleur très-belle	Vert tirant au bleu, couleur très-belle	
9,5	Rouge chaud non violacé	Vert vif	

Épaisseur en millimètres.	Teinte de l'image ordinaire O.	Teinte de l'image extraordinaire E.	Remarques.
mm 10,0*	Rouge vif non violacé	Vert vif	
10,1	Rouge vif	Vert vif	
10,5	Rouge un peu bleuâtre ou jaunâtre?	Vert bleuâtre	
11,0	Rouge rose bon, un peu jaunâtre?	Vert d'eau pâle	
11,25	Rose plus pâle, teinte plus indécise	Vert d'eau pâle, teinte indécise	C'est dans cet intervalle d'épaisseur que la règle de Newton cesse de concorder avec l'expérience, l'écart commence à s'opérer après l'épaisseur de 10mm. [illegible] maximum entre 11mm,5 et 11mm,75. C'est pourquoi on y a rapproché les observations. Il cesse [illegible] et alors les indications des figures 2 et 3 redeviennent d'accord avec l'expérience, comme on peut le constater en les comparant avec les teintes observées [illegible] depuis 13mm jusqu'à [illegible].
11,50	Rose bleuâtre presque blanc	Vert un peu jaunâtre presque blanc	
11,578	Blanc avec un soupçon de rougeâtre ou de rose	Jaune verdâtre distinct	
11,678	Blanc bleuâtre ou bleu blanchâtre, presque blanc	Jaune paille assez bon	
11,75	Blanc bleuâtre ou bleu blanchâtre, peut-être un peu moins blanc	Jaune paille peu coloré	
12,0	Bleu pâle, mais décidé	Jaune pâle mais décidé, tendant un peu au rougeâtre	
[illegible]	Bleu un peu verdâtre	Orangé ou orangé rougeâtre	
13,0	Bleu verdâtre	Rouge chaud un peu orangé	
13,5	Vert un peu bleuâtre	Rouge jaunâtre	
14,0	Vert franc	Rouge chaud comme orangé	
14,5*	Vert	Rouge	
15,0	Vert pâle jaunâtre, presque blanc	Rouge	
15,5	Vert pâle presque blanc	Rose à peine coloré	
15,75	Jaune très-pâle presque blanc	Blanc violacé presque blanc	
16,0	Jaune paille meilleur que le précédent	Bleu blanchâtre, meilleur que le précédent	
[illegible]	Jaune rougeâtre assez bon	Bleu verdâtre assez bon	
17,0	Rouge un peu jaunâtre très-bon	Bleu, bonne couleur	Dans cet intervalle d'épaisseur, les teintes [illegible] suivent assez bien la règle de Newton, quant à leur caractère dominant de coloration. Mais les intermittences de leur vivacité ne suivent pas les inflexions indiquées par les courbes tracées d'après cette règle dans les figures 2 et 3.
17,5	Rouge très-chaud, bonne couleur	Vert franc bonne couleur	
18,0	Rouge orangé ou orangé rougeâtre, bonne couleur	Vert bonne couleur	
18,5*	Rouge jaunâtre ou jaune rougeâtre, plus pâle que le précédent	Vert bleuâtre, teinte indécise	
19,0	Rose très-pâle jaunâtre ou jaune rougeâtre presque blanc, teinte indécise	Bleu blanchâtre très-pâle	
19,5	Blanc à peine rosâtre, teinte difficile à apprécier	Blanc à peine verdâtre ou jaunâtre, teinte très-indécise	
20,0	Blanc à peine bleuâtre, très-difficile à apprécier	Blanc à peine jaunâtre, très-difficile à juger	
20,5	Blanc bleuâtre ou verdâtre très-indécis	Jaune pâle un peu rougeâtre	Ce dernier intervalle d'épaisseur n'est pas compris dans les figures 2 et 3. Les teintes [illegible] images sont en général incertaines et très-difficiles à apprécier, d'autant que leur faible coloration les fait varier sensiblement de [illegible]. A la plus grande épaisseur 27mm,5, on aperçoit encore quelques légers changements de couleurs dans les deux images quand on fait tourner la section principale du prisme analyseur de 0° à 360°. Mais ces [illegible] sont trop faibles pour que leur caractère et les angles où elles s'opèrent puissent être fixés avec une suffisante précision.
21,0	Blanc verdâtre meilleur que le précédent	Orangé un peu rougeâtre	
21,5	Vert bleuâtre, coloration très-marquée	Jaune rougeâtre ou rouge jaunâtre	
22,0	Blanc verdâtre, coloration moindre	Jaune rougeâtre ou rouge jaunâtre	
22,5	Vert d'eau pâle ou blanc verdâtre	Jaune rougeâtre ou rouge jaunâtre	
23,0	Vert d'eau très-pâle	Jaune rougeâtre très-pâle	
23,5	Blanc à peine bleuâtre ou verdâtre	Blanc à peine jaunâtre	
24,0	Blanc presque imperceptiblement bleuâtre ou verdâtre	Blanc presque imperceptiblement jaunâtre	
27,5*	Blanc perceptiblement jaunâtre	Blanc perceptiblement bleuâtre	

VIII.

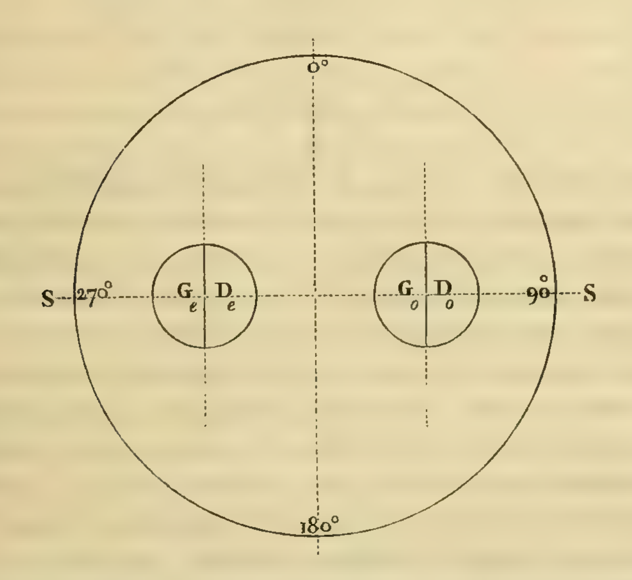
Expériences de compensation, faites en combinant des plaques simples de cristal de roche, perpendiculaires à l'axe, avec des appareils à deux rotations ayant diverses épaisseurs.

Les expériences que je vais rapporter font suite à un mémoire sur l'analyse des appareils à deux rotations de M. Soleil, qui est inséré au tome XXI des *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* p. 452; et je devrai supposer qu'on l'a sous les yeux. Parmi le nombre infini de ces appareils que l'on peut construire, en faisant varier l'épaisseur commune des plaques qui les composent par leur association, j'avais signalé comme méritant une considération spéciale ceux où cette épaisseur est telle, que la teinte de passage propre aux deux plaques composantes se forme dans des arcs de déviation ayant pour valeurs $\pm 90°$; $\pm 180°$; $\pm 270°$, ou en général un nombre quelconque complet de quadrants du cercle. En effet, ceux-là, et ceux-là seuls, jouissent de cette propriété, que si, dans le faisceau polarisé qui les a traversés, on interpose une plaque simple d'épaisseur quelconque, douée de pouvoir rotatoire, dont l'action propre se combinera par addition avec une moitié de l'appareil, et par soustraction avec l'autre, les teintes de passage propres aux deux systèmes résultants se formeront toujours dans des arcs de déviation différant entre eux de 180°; de sorte qu'elles s'obtiendront simultanément, dans une même position angulaire du prisme analyseur. D'après les vitesses de rotation

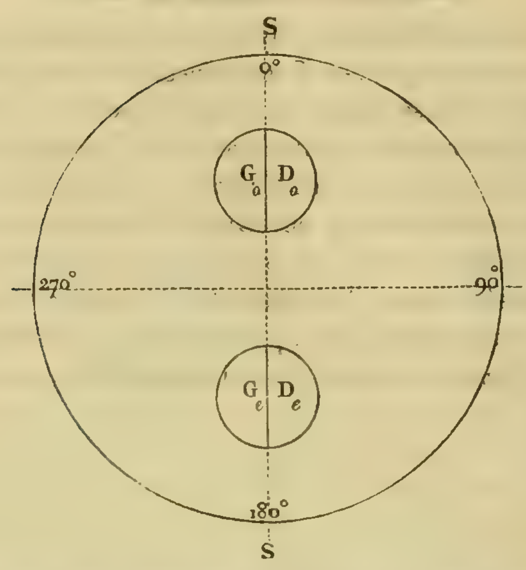
que j'ai attribuées aux divers rayons simples dans le cristal de roche perpendiculaire à l'axe, la condition qui vient d'être assignée se trouve remplie lorsque l'appareil à double plaque a pour épaisseur $3^{mm},75096$, ou un multiple entier quelconque de cette quantité, parce qu'elle exprime l'intervalle dans lequel le plan de polarisation des rayons jaunes moyens décrit un arc de rotation égal à un quadrant complet. Or ce plan est toujours celui dans lequel il faut amener la section principale du prisme analyseur, pour obtenir dans l'image extraordinaire E cette teinte violet bleuâtre succédant au bleu, et précédant le rouge, que nous avons nommée la teinte de passage.

Les expériences qui vont suivre, et que j'avais annoncées dans l'article cité des *Comptes rendus*, ont été faites pour manifester les relations de ces appareils entre eux, en transformant successivement chacune de leurs moitiés dans une moitié analogue de l'appareil antécédent ou subséquent, par l'addition de plaques simples procédant suivant les mêmes périodes d'épaisseur. J'ai principalement appliqué cette épreuve aux deux appareils que j'ai désignés par les lettres B et C dans mon Mémoire inséré aux *Comptes rendus*. Leurs épaisseurs étaient : pour le plus mince, B, $3^{mm},745$; pour le plus épais, C, $7^{mm},363$; l'un représentant ainsi très-approximativement le premier terme de la série équidistante qui les renferme, l'autre un peu moins approximativement le second. Mais le petit complément d'épaisseur $0^{mm},137$, qui manque à celui-ci, n'aura aucune importance dans les épreuves auxquelles je les emploierai. Admettant donc, par supposition, qu'ils eussent l'un et l'autre les épaisseurs mathématiquement requises pour représenter ces deux premiers termes, ou, ce qui est physiquement vrai, ad-

mettant que les différences qui les en écartent sont assez faibles pour n'avoir que des influences négligeables sur la nuance des teintes composées qu'on y pourra observer, les deux plaques de B donneront simultanément leur teinte de passage quand la section principale du prisme analyseur sera placée dans l'arc de déviation $\pm 90^\circ$. Alors les images, ordinaire O, extraordinaire E, de chaque plaque composante D ou G, seront disposées comme le représente ici la figure 1re, en adoptant la notation que j'ai employée dans mon Mémoire inséré aux *Comptes rendus*. Pour l'appareil C, au contraire,



cette simultanéité des teintes de passage s'obtiendra en plaçant la section principale du prisme dans l'arc de déviation 180° ou 360°; ce qui produira la disposition d'images représentée figure 2.



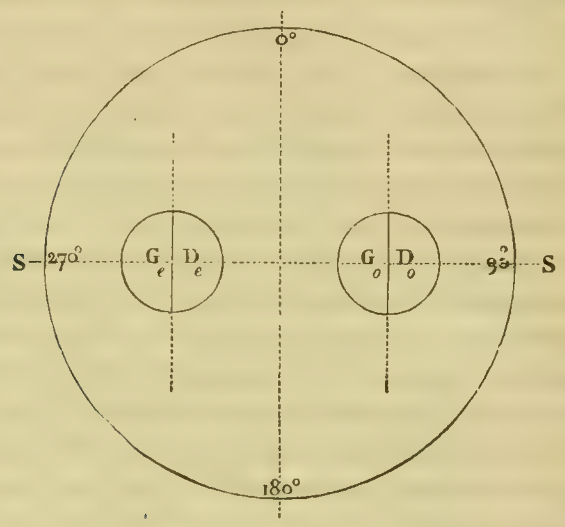
Dans les deux figures, la droite SS représente la direction *actuelle* de la section principale ; et les points marqués 0°, 180° indiquent la direction de la polarisation primitive supposée constante. Le plan de jonction des deux plaques de l'appareil que l'on étudie est rendu coïncidant avec cette direction, et le centre de la pupille est placé dans ce plan. Alors l'œil, amené tout contre le prisme analyseur, perçoit simultanément les images tant ordinaires qu'extraordinaires données par les deux plaques, lesquelles, restreintes par les diaphragmes, se présentent comme des demi-cercles ayant un diamètre commun parallèle à la ligne de jonction. La plaque qui exerce la rotation vers la droite, et que je désigne par D, est supposée, dans les figures, placée à droite de l'observateur ; l'autre, qui exerce la rotation vers la gauche, et que je désigne par G, est placée à sa gauche.

Le faisceau transmis étant restreint par des diaphragmes circulaires pour exclure les rayons obliques aux plaques, les demi-images D_o, D_e sont données par la plaque D ; les autres G_o, G_e, par la plaque G ; et les indices $_o$ $_e$ désignent l'espèce de réfraction ordinaire ou extraordinaire qui produit chacune d'elles. Dans les dispositions initiales figurées ici, D_o, G_o sont de même intensité et de même teinte entre elles, comme aussi D_e, G_e; de sorte que chaque disque est illuminé et coloré uniformément. Cette identité existe dans tous ces appareils pour les deux positions rectangulaires supposées ici au prisme analyseur, lorsqu'ils sont construits exactement ; et les teintes communes que présentent alors les deux demi-images dépendent de leur épaisseur. Mais ici, en vertu des épaisseurs spéciales données aux appareils B et C, lorsque la section principale SS du prisme analyseur est placée pour le premier conformément à la figure 1, et pour le second conformément à la figure 2, les images D_e, G_e offrent la teinte de passage violet bleuâtre propre à chacun d'eux ; et les images D_o, G_o offrent la nuance commune de jaune verdâtre qui en est complémentaire. Ces explications préliminaires feront aisément comprendre les épreuves que je vais successivement leur appliquer (*).

(*) Dans le Mémoire inséré *aux Comptes rendus*, j'ai employé les mêmes figures 1 et 2, en leur appliquant le même système de notation. Mais lorsque j'ai inséré la figure 2 à la page 471, on y a, par inadvertance, laissé subsister les lettres S S, sur la direction 90°—270° ; au lieu que ces lettres, qui, dans la figure 1, indiquent la position *actuelle* de la section principale du prisme analyseur, auraient dû être reportées alors sur la direction 0°—180°, qui est celle du plan de polarisation primitif. Heureuse-

EXPÉRIENCES SUR L'APPAREIL B, ÉPAISSEUR $3^{mm},745$.

J'observe d'abord cet appareil seul, dans sa condition initiale représentée ici figure 1. La section principale du prisme analyseur est rendue perpendiculaire au plan de polarisation primitif.



Dans cette disposition l'on a:

D_e, G_e, violet bleuâtre, teinte de passage commune aux deux plaques.
D_o, G_o, jaune pâle verdâtre, commune aux deux plaques.

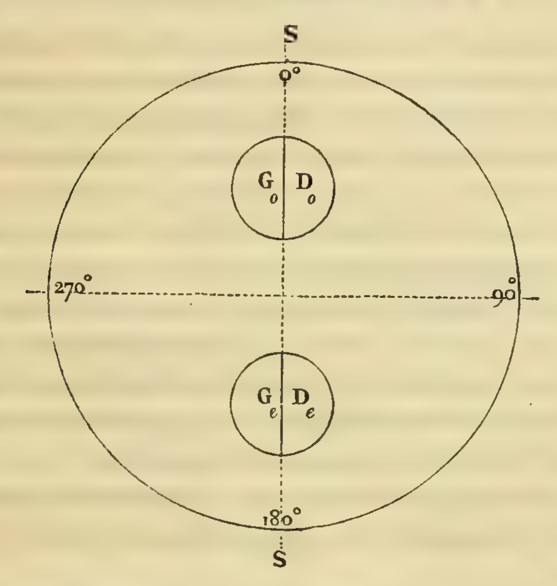
---

ment cette disposition est exprimée dans le texte, et elle est indiquée aussi par la situation des images; de sorte qu'on ne peut la méconnaître. Néanmoins, j'ai cru devoir donner ici cet avertissement, pour épargner au lecteur toute occasion d'ambiguïté, s'il voulait recourir à cette ancienne rédaction; et je l'ai évitée, dans le présent Mémoire, en reportant les lettres SS à leur vraie place, sur la figure 2.

PREMIÈRE MODIFICATION. 1) J'ajoute la plaque Q, épaisseur —3mm,767 ↖, le signe négatif que je lui donne s'accordant avec le sens de la flèche courbe, pour indiquer que cette plaque exerce la rotation vers la gauche de l'observateur. On a alors pour images résultantes :

D_o, sensiblement noir, peut-être reste-t-il un bleu très-sombre ; G_o, violet bleuâtre, teinte de passage.
D_e, jaune très-pâle ; G_e, jaune pâle verdâtre.

2) Je ramène la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation primitif, l'index étant sur 0°. Cela produit la disposition représentée ici fig. 2 :



Par cette transposition, les images O, E s'échangent entre elles pour chacun des deux systèmes, et l'on a

D_o, jaune très-pâle ; G_o, jaune pâle verdâtre.
D_e, sensiblement noir, conservant peut-être un bleu très-sombre ; G_e, violet bleuâtre, teinte de passage.

D_o semble un peu plus blanc, moins verdâtre, et un peu plus abondant en lumière que G_o. Mais la différence des deux teintes, vues ainsi en contiguïté, est extrêmement faible et presque indiscernable.

Explication. Dans la dernière position donnée ici au prisme analyseur, le système de droite est formé par la combinaison des plaques D + Q, dans laquelle on a pour épaisseurs :

$$D = + 3{,}745^{mm} \nearrow$$

$$Q = - 3{,}767 \searrow$$

Cela donne donc le système résultant de droite $D + Q = - 0{,}022 \searrow$

Si les mesures des épaisseurs pouvaient être supposées mathématiquement exactes, et les surfaces des plaques rigoureusement parallèles entre elles, ainsi que perpendiculaires à leurs axes respectifs, un tel système, *vu isolément*, dans la position actuelle du prisme analyseur, devrait donner une image extraordinaire E ou D_e d'un bleu violacé à peine perceptible ; et une image ordinaire O ou D_o sensiblement blanche, sans coloration appréciable, comme le montre notre tableau (F), page 422. Mais la présence des deux images données par le système de gauche modifie la sensation perçue par l'œil, et communique à D_o l'apparence de nuance jaune qui le fait voir à peine différent de G_o.

Dans ces mêmes circonstances, le système de gauche est formé par la somme des plaques G + Q, où l'on a pour épaisseur :

$$G = - 3{,}745^{mm} \searrow$$

$$Q = - 3{,}767 \searrow$$

Ce qui donne le système résultant de gauche. . $G + Q = - 7{,}512 \searrow$

Cette épaisseur totale est à très-peu près celle qui imprime au plan de polarisation des rayons jaunes moyens une déviation de 180°. Ainsi, dans la position que la figure 2 attribue au prisme analyseur, un tel système, vu isolément, doit donner E ou G_e violet bleuâtre, teinte de passage; et, par complément, O ou G_o jaune verdâtre pâle. C'est aussi ce qu'on observe; et ces deux nuances, bien décidées, dominent par contraste celles bien plus faibles des deux autres images qui sont vues en leur présence.

Cette expérience faite, j'enlève la plaque Q, et je ramène la section principale du prisme analyseur dans la direction rectangulaire à la polarisation primitive. Je retrouve ainsi la disposition initiale d'images représentée figure 1, avec les caractères propres à l'action isolée de l'appareil.

Deuxième modification. 1) J'ajoute la plaque

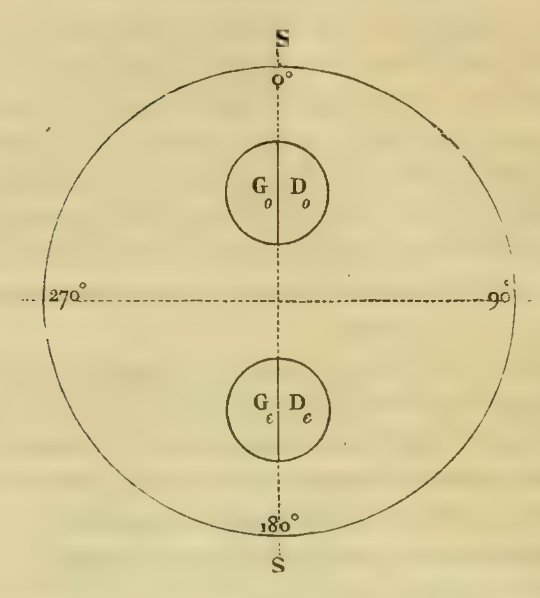
$$P = +3^{mm},795 \nearrow;$$

le signe positif et le sens de la flèche courbe marquent qu'elle exerce la rotation vers la droite. Alors, en se rapportant toujours à la figure 1, on a :

D_o, violet bleuâtre, teinte de passage; G_o, sensiblement noir ou bleu violacé très-sombre.

D_e, jaune verdâtre pâle; G_e, jaune très-pâle, plus blanchâtre et moins verdâtre que D_e.

2) Je ramène la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation primitif, l'index étant sur 0°. Cela reproduit la disposition d'images représentée ici fig. 2.



Par cette transposition, les images O, E, s'échangent entre elles pour chaque système partiel, et l'on a :

D_o, jaune verdâtre pâle ; G_o, jaune très-pâle, plus blanchâtre et moins verdâtre que D_o.
D_e, violet bleuâtre, teinte de passage ; G_e, sensiblement noir ou bleu violacé très-sombre.

Explication. Dans la dernière position donnée ici au prisme analyseur, le système de droite est formé par la somme des plaques D + P, où l'on a :

D = + 3,745 mm ↗
P = + 3,795 ↗

Donc, système résultant de droite. . . . D + P = 7,540 ↗

Cette épaisseur totale est encore à très-peu près celle qui imprime au plan de polarisation des rayons jaunes moyens une déviation de 180°. Ainsi, dans la position que la figure 2

attribue au prisme analyseur, un tel système, vu isolément, doit donner E ou D_e violet bleuâtre, teinte de passage, et par complément O ou D_o jaune verdâtre pâle : c'est en effet ce qui a lieu.

Dans ces mêmes circonstances, le système de gauche est formé par la combinaison des plaques G + P, où l'on a :

$$G = -\ 3^{mm},745 \ \nwarrow$$

$$P = +\ 3,795 \ \nearrow$$

Donc, système résultant de gauche. . . $G + P = +\ 0,050 \ \nearrow$

Dans la position attribuée au prisme analyseur, un tel système, vu isolément, devrait donner E ou G_e bleu violacé très-sombre, presque nul, et O ou G_o sensiblement blanc, ou imperceptiblement coloré de jaune. C'est aussi à très-peu près ce qu'on observe. Mais les images très-colorées D_o, D_e, qui sont vues simultanément avec les deux autres, influent sur la sensation, et communiquent à G_o une apparence de nuance sensiblement jaunâtre, qui serait imperceptible hors de leur présence.

Cette expérience faite, j'enlève la plaque P, et je ramène la section principale du prisme analyseur dans la direction rectangulaire au plan de polarisation primitif. Je retrouve ainsi la disposition initiale d'images représentée figure 1, avec les caractères propres à l'action isolée de l'appareil.

TROISIÈME MODIFICATION. 1) J'ajoute la plaque R, épaisseur $-\ 7^{mm},508 \ \nwarrow$, exerçant la rotation vers la gauche. Alors, en se rapportant toujours à la figure 1, on a :

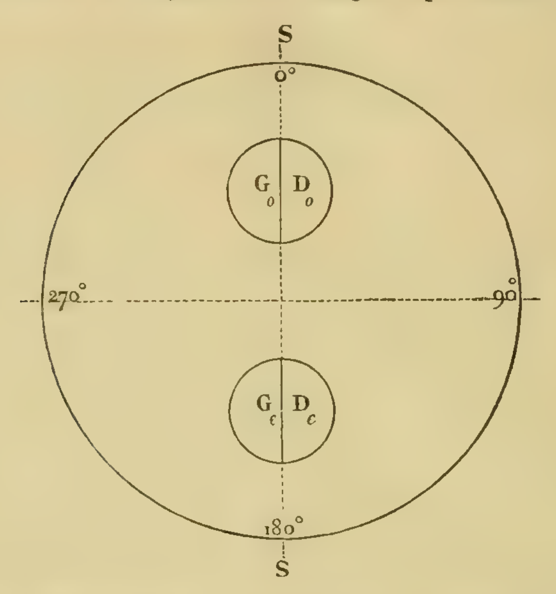
D_o, jaune verdâtre pâle ;

D_e, violet très-bleuâtre sombre, teinte de passage ;

G_o, jaune verdâtre pâle, mais un peu moins lumineux et un peu moins jaunâtre que D_o.

G_e, rose pâle, plus abondant et bien plus rougeâtre que D_e.

2) Je ramène la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation primitif, l'index étant sur 0°. Cela reproduit la disposition d'images représentée ici fig. 2.



Par cette transposition, les images O, E, s'échangent entre elles pour chaque système partiel, et l'on a :

D_o, violet bleuâtre très-sombre, teinte de passage;

D_e, jaune verdâtre pâle;

G_o, rose pâle, plus abondant et bien plus rougeâtre que D.

G_e, jaune verdâtre pâle, mais relativement un peu moins lumineux et un peu moins jaunâtre que D_e.

Explication. Dans la dernière position donnée ici au prisme analyseur, le système de droite est formé par la combinaison des plaques D + R, où l'on a :

$$D = + \overset{mm}{3{,}745} \nearrow$$

$$R = - 7{,}508 \nwarrow$$

Donc, système résultant de droite. . . . $D + R = - 3{,}763 \nwarrow$

Cette épaisseur résultante est à très-peu près celle qui imprime au plan de polarisation des rayons jaunes moyens une déviation égale à $-90°$. Donc, ici, la section principale du prisme analyseur se trouvant perpendiculaire à cette direction, la teinte de passage se transporte de E dans O, et réciproquement. Ainsi, l'on doit avoir O ou D_o violet bleuâtre sombre, ce qui est la teinte de passage propre à cette épaisseur; et E ou D_e jaune pâle verdâtre, qui en est le complément. C'est en effet ce qu'on observe.

Dans ces mêmes circonstances, le système de gauche est formé par la combinaison des plaques G+R, où l'on a :

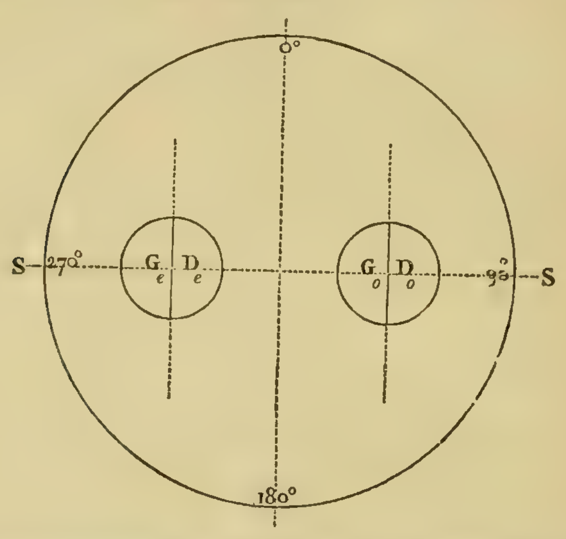
$$G = -\ 3^{mm},745$$

$$R = -\ 7,508$$

Donc, système résultant de gauche . . . $G + R = -\ 11,253$

Cette épaisseur totale est à très-peu près celle qui imprime au plan de polarisation des rayons jaunes moyens une déviation égale à $-270°$, ou trois quadrants. Donc, ici, la section principale du prisme analyseur étant rendue perpendiculaire à cette direction, la teinte de passage de E doit se transporter dans O, et réciproquement, avec les caractères de nuance que notre tableau (F), page 422, indique pour une épaisseur pareille, si l'on observait ces images isolées. On doit donc, dans cette supposition d'isolement, avoir O ou G_o rose pâle bleuâtre, et par complément E ou G_e blanc verdâtre pâle. C'est aussi ce qu'on observe pour O. Mais, quant à E ou G_e, le jaune verdâtre de D_e y modifie la sensation absolue du vert, et le fait paraître un peu plus jaunâtre qu'on ne le verrait à l'état d'isolement.

Ces épreuves étant faites, je laisse la plaque additionnelle R dans son même emploi d'interposition ; mais je rends de nouveau la section principale du prisme analyseur perpendiculaire au plan de polarisation primitif, en replaçant l'index sur + 90°. Cela nous ramène à la figure 1.



Alors les deux systèmes de droite et de gauche reproduisent individuellement leurs images, comme dans le premier cas que nous avions considéré ; et ainsi l'on a :

D_o, jaune verdâtre pâle ;

G_o, jaune verdâtre pâle, mais un peu moins lumineux et un peu moins jaunâtre que D_o.

D_e, violet bleuâtre sombre, teinte de passage ;

G_e, rose pâle bleuâtre, plus abondant et plus rougeâtre que D_e.

D'après l'analyse faite précédemment, D_e est la teinte de passage du système de droite, dont l'épaisseur résultante est $D + R = -3^{mm},763$; et G_e est la teinte de passage du système de gauche, dont l'épaisseur résultante est $-11^{mm},253$.

Ceci établi, je ramène l'index de quelques degrés vers le

plan de polarisation primitif. Je rends ainsi la déviation du prisme analyseur un peu plus grande que —90° pour le système de droite, et un peu plus grande que —270° pour le système de gauche. Les arcs de déviation des teintes de passage propres à chaque système étant alors tous deux dépassés, les images D_e, G_e, qui leur appartiennent, deviennent l'une et l'autre plus rouges qu'auparavant. Mais D_e, appartenant au système le plus mince, est d'un rouge plus vineux et plus bleuâtre que G_e, parce que la mutation s'opérant sur des nuances différentes de la teinte de passage, la modifie inégalement.

Pour opérer les effets inverses, je ramène d'abord l'index du prisme analyseur sur + 90°, puis je lui fais dépasser ce point de quelques degrés. Par là, je rends la déviation de la section principale un peu moindre que —90° pour le système de droite, et un peu moindre que —270° pour le système de gauche. Alors les arcs de déviation propres à la teinte de passage de chaque système n'étant pas encore atteints, les images D_e, G_e passent l'une et l'autre au bleu. Mais D_e, qui appartient au système le plus mince, se montre d'un bleu beaucoup plus beau et plus foncé que G_e, qui devient seulement d'un bleu blanchâtre presque blanc, comme se rapportant à une phase de la teinte de passage correspondante à une plus grande épaisseur. Tous ces résultats sont conformes à ce que nous avons antérieurement reconnu, sur le caractère constant de transition du bleu au rouge propre à la teinte de passage, et sur les mutations qui s'opèrent aux diverses épaisseurs, tant dans sa nuance, que dans celles des teintes qui la précèdent ou lui succèdent, lorsque l'on fait tourner le prisme analyseur dans le sens de la rotation exercée.

Expériences sur l'appareil C, épaisseur moyenne $7^{mm},354$.

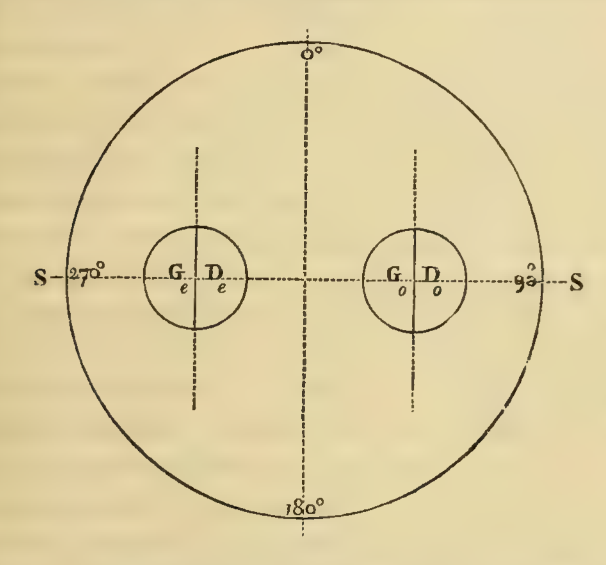
L'épaisseur de cet appareil est tant soit peu moindre qu'il ne le faudrait pour que l'image extraordinaire E atteigne la teinte de passage dans un arc de déviation exactement égal à 180°. Cette condition exigerait qu'elle fût plus forte de $0^{mm},146$. Mais comme, à cet ordre d'épaisseur, la teinte de E n'éprouve que des mutations très-faibles autour de son point de passage précis, je négligerai cette petite différence dans les énoncés pour en abréger l'expression; et je considérerai les effets de l'appareil dans cet arc de déviation même, en plaçant l'index du prisme analyseur sur 0°, position équivalente à 180° pour toutes les apparences optiques. Les deux plaques composantes D, G présentaient une très-légère inégalité d'épaisseur, qui pouvait provenir d'une configuration tant soit peu prismatique de leur ensemble. Car, en les mesurant aux points milieux de leurs surfaces, le sphéromètre donnait:

$$D = 7^{mm},363$$
$$G = 7,\ 345$$

d'où l'on conclut pour l'épaisseur moyenne $7^{mm},354$, comme je l'ai annoncé. Cette petite différence ne produisait toutefois aucune dissimilitude appréciable entre les teintes apparentes des images O, E, dans la position attribuée ici au prisme analyseur, à cause de la lenteur de leurs mutations à des épaisseurs absolues aussi grandes. Ce résultat s'accorde avec beaucoup d'autres pour montrer, qu'afin de donner aux appareils à deux rotations la plus grande sensibilité qu'ils puissent atteindre, il faut restreindre leur épaisseur au terme

précédent de la série qui les embrasse, c'est-à-dire à $3^{mm},75$, si l'on adopte les valeurs que j'ai assignées aux rotations des rayons simples dans le cristal de roche (1). D'après cette remarque, dans les expériences qui vont suivre j'attribuerai aux plaques D, G de celui-ci leurs valeurs individuelles, quand je les combinerai avec d'autres par somme ou par différence.

Adoptant ici le même mode d'exploration que j'ai suivi dans les expériences précédentes, j'observe d'abord l'appareil C seul, en plaçant la section principale du prisme analyseur dans le plan de polarisation primitif, et l'index sur 0°. Cela donne la disposition d'images représentée ici figure 1.



(*) Voyez mon Mémoire sur les propriétés optiques des appareils à deux rotations, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome XXI, page 453.

On a alors :

D_o, G_o, jaune pâle verdâtre, teinte commune aux deux plaques.
D_e, G_e, violet rougeâtre, teinte de passage, commune aux deux plaques.

Première modification. (1 J'ajoute la plaque Q, épaisseur — $3^{mm},767$ ↘. Les images modifiées prennent les caractères suivants :

D_o, violet bleuâtre vineux, presque la teinte de passage du système D + Q;
D_e, jaune pâle verdâtre;

G_o, rose bleuâtre pâle, presque la teinte de passage du système G + Q.
G_e, jaune verdâtre, un peu plus verdâtre que D_e.

Explication. Ici l'action résultante du système de droite correspond à l'épaisseur + $7^{mm},363$ — $3^{mm},767$ ou + $3^{mm},596$; et l'action résultante du système de gauche répond à l'épaisseur — $7^{mm},345$ — $3^{mm},767$ ou — $11^{mm},112$. Ces valeurs sont toutes deux un peu moindres que + $3^{mm},75$ et — $11^{mm},25$, qui, d'après les vitesses de rotation que j'ai adoptées, donneraient les teintes de passage de E dans les arcs de déviation + 90° et — 270°, et conséquemment les transporteraient aux images O, pour la position assignée ici au prisme analyseur. Or, c'est réellement ce qui a lieu, sauf les faibles mutations de nuance que la petite infériorité d'épaisseur entraîne. Car les déviations + 90° et — 270° étant l'une et l'autre un peu plus grandes que celles qu'il faudrait employer pour obtenir les teintes de passage E des deux systèmes résultants, elles devraient donner aux images E une nuance tant soit peu plus rouge, laquelle, dans la position donnée ici au prisme analyseur, doit se transporter aux images O, comme on l'observe effectivement; et les résultats sont conformes à ceux du tableau (F), page 422, pour les mêmes épaisseurs.

Deuxième modification. (2 Laissant toujours l'index du

prisme sur o°, j'enlève la plaque Q, et je lui substitue la plaque P, épaisseur + 3^{mm},795. J'obtiens alors :

D_o, rose bleuâtre pâle, très-mêlé de blanc. G_o, violet vineux, beaucoup plus coloré que D_o.
D_e, jaune verdâtre ; G_e, jaune verdâtre, plus pâle et moins verdâtre que D_e.

Explication. Ici l'action résultante du système de droite correspond à l'épaisseur 7^{mm},363 + 3^{mm},795 ou + 11^{mm},158; et l'action résultante du système de gauche répond à l'épaisseur — 7^{mm},345 + 3^{mm},795 ou — 3^{mm},55. Les teintes de passage de l'image E, propres à ces épaisseurs, doivent s'obtenir, pour la première, dans un arc de déviation un peu moindre que + 270, et pour la deuxième dans un arc de déviation un peu moindre que — 90° : conséquemment, à ces deux déviations trop grandes, les teintes observées seront tant soit peu plus rouges que les teintes de passage ; et, dans la position donnée ici au prisme analyseur, elles se transporteront avec ce même caractère aux images O. C'est en effet ce qui a lieu; mais la différence entre la teinte O et la teinte de passage est presque inappréciable, surtout pour le système de droite, qui répond à une plus grande épaisseur que celui de gauche.

Troisième modification. 3) Laissant toujours l'index du prisme analyseur sur o°, j'enlève la plaque P, et je lui substitue la plaque R, épaisseur — 7^{mm},508. J'obtiens alors:

D_o, blanc, perceptiblement jaunâtre ; G_o, bleu verdâtre ou vert bleuâtre.
D_e, presque noir, avec un soupçon de violet bleuâtre ou de bleu violacé, à peine perceptible. G_e, rose pâle.

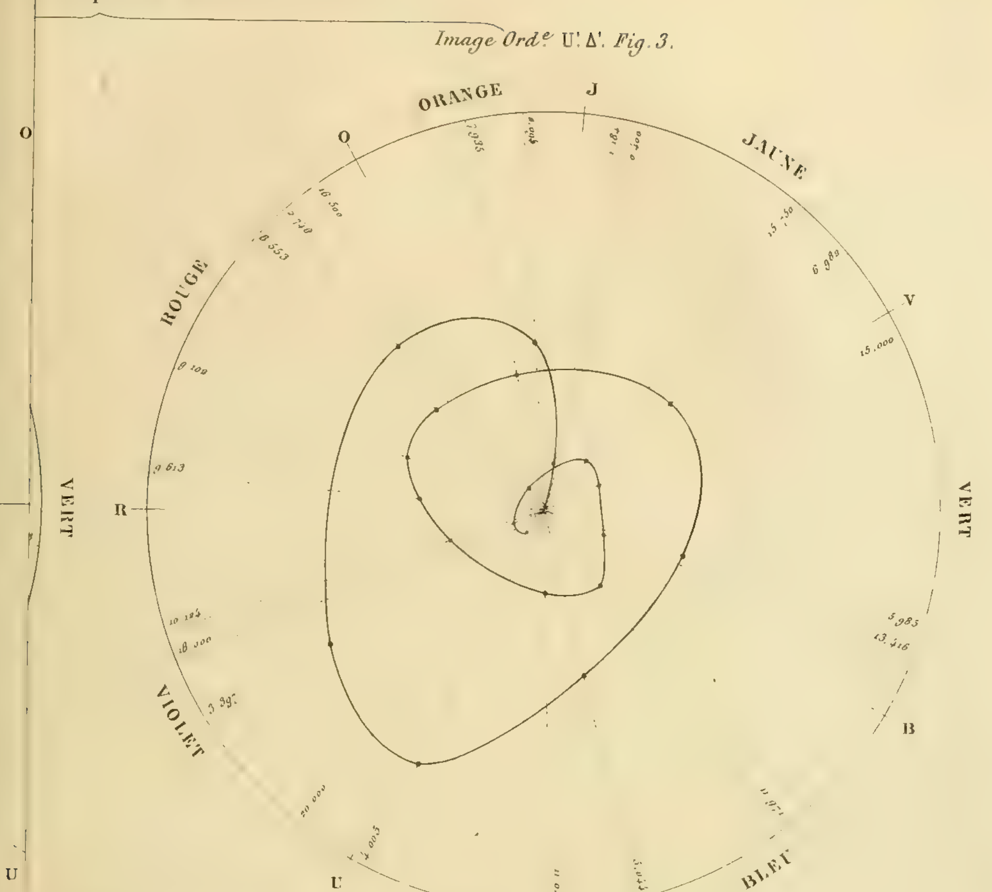
Explication. L'action résultante du système de droite répond à l'épaisseur + 7^{mm},363 — 7^{mm},508 ou — 0^{mm},145. Réduite à ce degré de minceur, elle doit, dans la position assignée ici au prisme analyseur, donner l'image E ou D_e d'un bleu violacé très-sombre qui s'évanouit presque, étant vu en en présence

des teintes colorées du système de gauche. Donc, par complément, elle doit donner pour l'image O ou D_o un blanc qui serait imperceptiblement jaunâtre s'il était vu seul, mais qui devient sensiblement jaunâtre sous l'influence contrastante des teintes G_o, G_e. C'est aussi ce que l'expérience réalise.

L'action résultante du système de gauche répond à l'épaisseur — 7^{mm},345 — 7^{mm},508 ou — 14^{mm},853. Cette valeur est à peine différente de 15^{mm} qui, d'après nos nombres, donnerait la teinte de passage de l'image E dans l'arc de déviation 360° ou 0°, c'est-à-dire, dans la position actuelle du prisme analyseur. Tel est en effet aussi le résultat qu'on observe, sauf la modification produite sur la sensation par la présence simultanée du blanc perceptiblement jaunâtre de D_o. Et cela est aussi conforme aux indications du tableau (F), page 202, pour la même épaisseur résultante, sauf l'influence que nous venons de signaler.

Des considérations exactement pareilles feront prévoir les teintes des images résultantes O, E, que l'on pourrait obtenir en combinant des plaques d'épaisseurs quelconques avec des appareils à deux rotations; et l'application en est si facile après les exemples qui précèdent, que je crois inutile de les multiplier davantage.

métrique des valeurs U.U'. Δ.Δ'.





Construction Géométrique des valeurs U.U'. Δ Δ

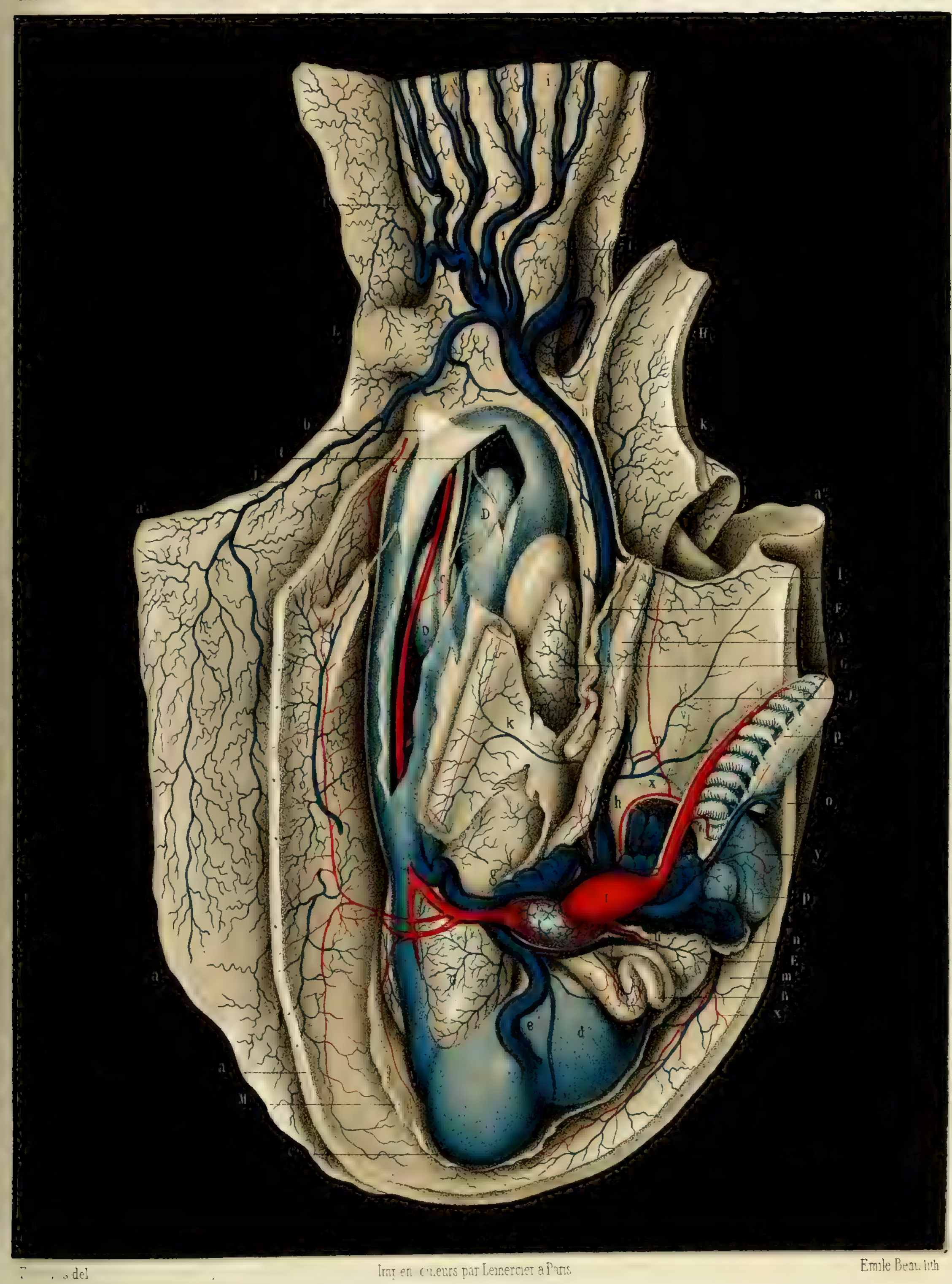


0°
B
Fi
Epaisse
180°



Fig. 19.
Épaisseur 21,390.
Rotation à droite.

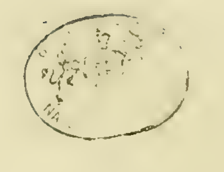




Emile Beau lith

Imp en couleurs par Lemercier a Paris

APPAREIL CIRCULATOIRE DU POULPE A LONGS BRAS



OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES

SUR LA CIRCULATION

CHEZ LES MOLLUSQUES.

Par M. MILNE EDWARDS.

Lu dans la séance du 3 février 1845.

Dans un travail que j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie en 1839 (1), j'ai fait voir que, chez les Mollusques inférieurs connus sous les noms d'*Ascidies composées* et d'*Ascidies sociales,* une portion considérable du cercle circulatoire parcouru par le sang est composée de vaisseaux tubuleux comparables aux artères et aux veines des animaux supérieurs, mais que, dans une autre partie de ce cercle, il n'en est pas de même ; que là il n'existe plus ni artères ni veines, le liquide nourricier est épanché entre les organes,

(1) Observations sur les Ascidies composées des côtes de la Manche. (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XVIII.)

en baigne directement la surface, et pénètre dans la profondeur des tissus par une sorte d'infiltration. Effectivement, dans l'abdomen de ces Mollusques, le sang, au lieu d'être renfermé comme d'ordinaire dans un système clos de canaux à parois propres, circule dans les espaces que les viscères laissent entre eux, et remplit la grande cavité destinée à loger ces organes.

Ce singulier mode de circulation rappelle jusqu'à un certain point ce que M. Audouin et moi avions constaté chez les Crustacés, il y a bientôt vingt ans, mais s'accorde si mal avec les idées généralement reçues touchant la structure du système sanguin chez les Mollusques ordinaires, que j'aurais douté de l'exactitude de mes résultats si l'observation des faits avait été moins facile. Mais, en examinant ces animaux lorsqu'ils sont encore pleins de vie et lorsque la transparence naturelle de leurs tissus n'a pas été altérée par les moyens de conservation auxquels on est obligé d'avoir recours dans les musées, on voit le courant sanguin (reconnaissable aux globules charriés par le liquide) passer de la portion vasculaire du cercle circulatoire dans la cavité abdominale, parcourir celle-ci en divers sens et s'engager même dans les prolongements en forme de doigts de gants dont la partie inférieure du sac péritonéal est souvent garnie. Si l'on se contente de l'étude de la vie faite sur le cadavre, on peut méconnaître cette disposition remarquable; mais, pour quiconque a sous les yeux une Claveline vivante et sait voir, le doute me semble impossible. D'ailleurs, si j'avais conservé à cet égard quelque incertitude, elle aurait cessé lorsque j'ai eu l'occasion d'observer à l'état vivant certains Mollusques appartenant à une famille différente, mais à la même classe, les *Salpa,* qui, à

certaines époques de l'année, abondent sur divers points de la Méditerranée, aux environs de Nice, par exemple.

Au premier abord, cet état d'imperfection de l'appareil circulatoire dans la classe des Tuniciers ou Mollusques acéphales sans coquilles, de Cuvier, me paraissait devoir être un caractère propre à ce groupe, et constituer un nouvel exemple de ces dégradations des grands appareils physiologiques, qui s'observent si fréquemment dans les rangs inférieurs de chacune des principales séries naturelles du règne animal, sans qu'elles entraînent avec elles la disparition du type fondamental propre à la série ainsi modifiée; mais, en me rappelant une observation déjà ancienne de Cuvier, j'ai pensé que cette circulation semi-vasculaire, semi-lacuneuse, pourrait bien ne pas être un fait isolé dans la physiologie des Mollusques. Effectivement, dans son beau Mémoire sur l'Aplysie (1), Cuvier nous apprend que, chez ce Gastéropode, les canaux destinés à porter le sang veineux aux branchies ont pour parois des faisceaux musculaires seulement, et que les espaces compris entre ces faisceaux établissent une communication directe entre les veines caves ou artères branchiales, comme on voudra les appeler, et la cavité abdominale; que, par leur extrémité antérieure, ces gros vaisseaux se confondent même avec la cavité générale du corps, et que les liquides contenus dans celle-ci pénètrent aisément dans le système circulatoire, et réciproquement.

« Cette communication, dit Cuvier (2), est si peu d'accord

---

(1) *Voyez* Mémoires pour servir à l'histoire et à l'anatomie des Mollusques. Paris, 1817; et *Annales du Muséum*, tome II.

(2) Op. cit., pag. 13.

« avec ce que nous connaissons dans les animaux vertébrés, « que j'ai voulu longtemps en douter, et même après l'avoir « fait connaître à l'Institut, il y a quelques années, je n'osai « pas d'abord faire imprimer mon Mémoire, tant je craignais « de m'être trompé; enfin, je suis obligé de céder à l'évidence; « et, dans ce moment, où je peux disposer d'autant d'Aply- « sies qu'il me plaît, je viens de m'assurer par toutes les voies « possibles :

« 1° Qu'il n'y a point d'autre vaisseau pour porter le sang « aux branchies que ces deux grands conduits musculaires et « *percés* que je viens de décrire;

« 2° Que toutes les veines du corps aboutissent médiate- « ment ou immédiatement dans ces deux grands conduits.

« Or, comme leur *communication avec la cavité abdomi- « nale est évidente et palpable*, qu'on les appelle veines caves, « ou cavités analogues au ventricule droit, ou enfin artères « branchiales, car on voit qu'ils remplissent les fonctions de « ces trois organes, il résulte toujours que les fluides épan- « chés dans la cavité abdominale peuvent se mêler directement « dans la masse du sang et être portés aux branchies, et que « les veines font l'office des vaisseaux absorbants.

« Cette vaste communication (ajoute encore Cuvier) est sans « doute un premier acheminement à celle bien plus vaste en- « core que la nature a établie dans les insectes où il n'y a pas « même de vaisseaux particuliers pour le fluide nourricier. »

Le rapport entre la découverte faite par Cuvier, en disséquant l'Aplysie, et les résultats auxquels j'étais arrivé en étudiant au microscope les Biphores et les Ascidies, est si manifeste, que je ne pouvais le méconnaître; et d'ailleurs l'Aplysie n'est pas le seul Mollusque chez lequel des communications

libres avaient été constatées entre les vaisseaux sanguins et la cavité abdominale. Ainsi MM. Owen (1) et Valenciennes (2) ont trouvé chez le Nautile un nombre considérable de grands orifices qui, de la veine cave, débouchent directement dans cette cavité, et M. Delle Chiaje a observé chez le Poulpe, le Pecten et plusieurs autres Mollusques, une disposition particulière du système circulatoire qui me paraissait se lier également à une structure analogue à celle dont il vient d'être question, bien que cet anatomiste habile l'ait interprété autrement (3). D'après ces considérations, j'ai été conduit à penser que le système vasculaire des Mollusques en général n'était probablement pas aussi complet qu'on le croit communément, et qu'il serait intéressant d'examiner si le caractère particulier que m'avait offert le mode de circulation chez les Tuniciers ne se retrouverait pas, d'une manière plus ou moins marquée, dans tout le grand embranchement des Malacozoaires.

Cette question est une de celles dont je me suis occupé pendant mon séjour sur les côtes de la Sicile; et, pour la résoudre, j'ai eu recours à des expériences physiologiques aussi bien qu'à des observations anatomiques.

L'Académie connaît les résultats auxquels ces recherches m'ont conduit. Effectivement, dans un écrit dont j'ai eu

---

(1) Voyez *Memoir on the Pearly Nautilus*, by Richard Owen; in-4°. London, 1832; traduit en français dans les *Annales des Sciences naturelles*, première série, tome XXVIII, 1833 (page 120).

(2) Nouvelles recherches sur le Nautile flambé. (*Archives du Muséum*, tome II, p. 277.)

(3) *Animali invertebrati*, tom. I et II.

l'honneur de déposer un exemplaire sur le bureau, dans la séance du 25 novembre dernier, j'ai annoncé que « chez les « Mollusques, même les plus parfaits, le système des vais- « seaux à l'aide desquels le sang circule dans l'économie est « plus ou moins incomplet; de sorte que, dans certains points « du cercle circulatoire, ce liquide s'épanche dans les grandes « cavités du corps, ou dans les lacunes dont la substance des « tissus est creusée (1). » J'ai ajouté aussi que, sous ce rapport,

---

(1) Un fait intéressant, constaté en 1822 par M. Gaspard, aurait contribué aussi à me confirmer dans cette opinion, s'il n'avait échappé à mon attention, ainsi qu'à celle de tous les physiologistes qui ont écrit sur ce sujet depuis vingt ans. En effet, dans un appendice à son Mémoire sur l'hibernation des Colimaçons, inséré dans le deuxième volume du *Journal de Physiologie*, par M. Magendie, M. Gaspard signale l'existence d'un épanchement sanguin dans la cavité viscérale de ces Mollusques. Il est à regretter qu'il n'ait pas donné suite à cette observation, et qu'il n'ait pas cherché à découvrir les relations qui pouvaient exister entre cet *épanchement* et le phénomène de la circulation; au lieu de rester stérile, elle aurait alors conduit M. Gaspard à des résultats dont il ne peut réclamer aujourd'hui la propriété.

Je m'empresse aussi de réparer une autre omission involontaire dont j'ai été coupable en rédigeant ce Mémoire. Je ne connaissais pas alors l'existence d'un travail sur la Limace rouge, par M. Pouchet, imprimé à Rouen en 1842, et contenant des observations sur la *perspiration* du sang des capillaires dans la cavité abdominale de ce Mollusque, et l'*absorption* subséquente de ce liquide par les extrémités des veines. Mais je dois faire remarquer, en même temps, que la manière dont M. Pouchet se rend compte de la présence du sang dans la cavité viscérale, et de la rentrée de ce liquide dans le torrent de la circulation, est entièrement différente de l'opinion dont je vais démontrer ici l'exactitude. Pour ce physiologiste, le fait en question est un phénomène d'exhalation et d'absorption; et rien, dans son Mémoire, ne m'autorise à penser qu'il ait

la structure de ces animaux se rapproche extrêmement du mode d'organisation que j'avais précédemment constaté chez les Crustacés, où le système veineux général manque tout entier, et se trouve remplacé, quant à ses fonctions, par les espaces irréguliers que les divers organes laissent entre eux (1).

Je comprends facilement la surprise que quelques anatomistes ont pu éprouver en lisant le passage que je viens de citer, et même les doutes qui ont pu s'élever dans leur esprit sur l'exactitude de mes observations, car on se forme d'ordinaire une idée bien différente du système circulatoire des Mollusques. Effectivement, dans les ouvrages les plus récents sur ces matières, on dit que cet appareil est *un système de vaisseaux clos dans lequel le sang de tout le corps est enfermé* (2), et dans d'autres livres qui, pour avoir précédé de

---

reconnu, dans la Limace, la circulation semi-lacuneuse dont j'avais, quelques années avant, constaté l'existence chez les Tuniciers. (*Voyez* les Comptes rendus des séances de l'Académie, 10 février 1845.)

En indiquant les faits à l'appui de mon opinion, j'aurais pu citer également les observations de M. de Quatrefages, sur les Éolides ; car ce zoologiste distingué avait déjà reconnu l'absence d'une portion du cercle vasculaire chez ces Mollusques ; mais l'exactitude de ce résultat ayant été attaquée par un autre naturaliste, et la question en litige entre ces deux auteurs étant pendante devant l'Académie, j'ai cru devoir m'abstenir d'en parler. Aujourd'hui on sait que les observations de M. Quatrefages, relatives à ce point important de la physiologie des Mollusques, ont été pleinement confirmées par M. Nordmann. (Additions faites au moment de l'impression de ce Mémoire ; décembre 1846.)

(1) Rapport adressé à M. le Ministre de l'instruction publique, sur les résultats d'une mission scientifique en Sicile, le 10 novembre 1844, et inséré au *Moniteur* le 27 du même mois.

(2) *Voyez* Duvernoy, *Additions aux Leçons d'Anatomie comparée de*

plusieurs années les Traités auxquels je viens de faire allusion, n'en sont pas moins considérés, à juste titre, comme faisant toujours autorité dans la science, on décrit les veines comme étant constamment pourvues d'une tunique propre, et comme venant de toutes les parties du corps se réunir en branches, puis en troncs de plus en plus gros, pour pénétrer ensuite dans l'organe respiratoire; on rappelle, il est vrai, les orifices signalés par Cuvier dans les veines de l'Aplysie, mais on affirme néanmoins que, chez *tous les Malacozoaires, l'appareil de la circulation est complet* (1). J'ai aussi pendant longtemps partagé cette erreur commune (2); mais aujourd'hui je crois pouvoir démontrer :

1° Que l'appareil vasculaire n'est complet chez aucun Mollusque;

2° Que, dans une portion plus ou moins considérable du cercle circulatoire, les veines manquent toujours et sont remplacées par des lacunes ou par les grandes cavités du corps;

3° Que souvent les veines manquent complétement, et qu'alors le sang, distribué dans toutes les parties de l'économie, au moyen des artères, ne revient vers la surface respiratoire que par les interstices dont je viens de parler.

Cuvier, t. VI, p. 359 (Paris, 1839). — Owen, *Lectures on the Comparative Anatomy and Physiology of the invertebrate animals*, p. 13. (London, 1843.)

(1) Cuvier, *Règne animal*, tome I, p. 50, et tome III (deuxième édit., 1829 et 1830). — Meckel, *Anatomie comparée*, tome VI, chap. 7. — Blainville, article Mollusques du *Dictionnaire des Sciences naturelles*, tome XXXII, p. 109 (Paris, 1824); et *Manuel de Malacologie*, p. 130 (Paris, 1825).

(2) *Voy.* mes *Éléments de Zoologie*, tome I, p. 50 (deuxième édit., Paris, 1840).

A l'appui de ces propositions, je ne rapporterai pas tous les faits de détail qui ont contribué peu à peu à former mon opinion; il me suffira, je crois, de citer un petit nombre d'expériences qui me paraissent être décisives, et qui sont d'ailleurs si faciles à répéter, que tous les anatomistes pourront vérifier l'exactitude de mes observations.

J'ai dit que, chez les Mollusques, le système veineux manque en totalité ou en partie, et que la cavité viscérale tient lieu d'une portion du cercle circulatoire. Pour s'en assurer, il suffit d'injecter un peu de lait dans l'abdomen d'un Colimaçon vivant.

Ce liquide, dont notre savant collègue M. Duméril s'était déjà servi avec succès pour l'injection du système gastro-vasculaire des Méduses, a l'avantage de n'irriter que peu les tissus avec lesquels il arrive en contact, et d'être, en général, assez facile à reconnaître par son opacité et sa teinte particulière. Quand on l'injecte dans la cavité abdominale du Colimaçon, il s'y mêle au sang veineux arrivant des diverses parties du corps, pénètre avec ce liquide dans les vaisseaux afférents du poumon, passe dans les veines pulmonaires, et s'introduit enfin dans le cœur, qui bientôt le chasse dans les artères chaque fois que son ventricule se contracte.

Afin de rendre plus palpable cette communication libre entre la cavité abdominale et la position vasculaire de l'appareil circulatoire, il est bon d'employer de préférence au lait une dissolution de gélatine colorée par un précipité abondant de chromate de plomb, car cette matière pénètre aussi très-facilement de la cavité abdominale dans les vaisseaux du poumon, et de ceux-ci jusque dans le cœur; sa couleur jaune crue tranche sur les teintes rompues des divers

tissus, et la solidification de la gélatine ainsi injectée rend permanentes les traces de son passage. Pour bien assurer la réussite de cette expérience, il faut aussi empêcher l'animal de se contracter avec violence, comme cela arrive d'ordinaire dès qu'un liquide étranger pénètre dans son abdomen, et ce résultat s'obtient en déterminant par submersion une asphyxie incomplète; en effet, le corps du Mollusque est alors étendu comme lorsqu'il rampe sur le sol, mais reste flasque et ne donne que peu de signes d'irritabilité.

J'ai l'honneur de placer sous les yeux de l'Académie quelques-unes des préparations obtenues par ce procédé (1). L'injection a toujours été faite en poussant doucement le liquide coloré dans la grande cavité viscérale du corps par une petite ouverture pratiquée sur le dos ou à la base de l'un des tentacules céphaliques du Colimaçon; les bords de la plaie ont été comprimés de façon à oblitérer l'orifice des petits vaisseaux divisés par l'instrument tranchant; et dans les autres parties de l'économie on n'a ouvert ni artères, ni veines; cependant les nombreux vaisseaux qui portent le sang de tous les organes dans l'appareil respiratoire, et qui forment à la voûte de la cavité pulmonaire un magnifique réseau, sont remplis de chromate de plomb, et l'injection, après avoir pénétré de la sorte dans le système de la petite circulation et l'avoir traversé tout entier, est arrivé dans l'oreillette du cœur. Pour s'en assurer, il suffit de l'observation à l'œil nu; mais c'est seulement en s'aidant d'une loupe, qu'on pourra voir comment le passage s'est effectué. Ces préparations montrent aussi que les liquides épanchés dans la cavité abdomi-

---

(1) *Voyez* planche 3.

nale pénètrent immédiatement dans les canaux veineux destinés à porter le sang du foie, des ovaires et des autres organes vers l'appareil de la respiration, ainsi que dans les lacunes intermusculaires, qui, dans le pied, tiennent lieu de veines. En un mot, elles font voir que toutes les veines du corps communiquent librement avec la cavité viscérale; que, dans bien des parties de l'économie, de simples lacunes tiennent lieu de veines, et que ce sont aussi des lacunes microscopiques creusées dans la substance des tissus qui remplissent les fonctions des vaisseaux capillaires des animaux supérieurs, et qui font communiquer les dernières ramifications des artères avec les racines du système veineux. Je décrirai bientôt, avec tous les détails nécessaires, la disposition anatomique de cet appareil circulatoire semi-vasculaire, semi-interstitiaire. Dans ce moment, je ne pourrais le faire sans m'éloigner trop de l'objet principal de cet écrit, et je me hâte de revenir à la partie physiologique de la question.

Les expériences dont je viens de faire mention prouvent que les liquides contenus dans la cavité abdominale du Limaçon, et même les particules solides tenues en suspension dans ces liquides, pénètrent instantanément, et sans la moindre difficulté, dans les vaisseaux sanguins; mais elles ne suffisent pas encore pour montrer que la cavité viscérale constitue, ainsi que je l'ai dit, une portion du cercle circulatoire parcouru par le fluide nourricier. Effectivement, on m'objecterait peut-être que le passage, même très-rapide, d'un liquide de la cavité abdominale dans les veines, pourrait résulter d'un phénomène d'absorption, et que rien ne montre encore la libre communication en sens contraire que je suppose exister.

Pour lever cette difficulté, j'ai eu recours à une expérience analogue par ses résultats à celle dont je viens de parler, mais exécutée d'une manière différente : au lieu d'injecter les canaux veineux par l'intermédiaire de la cavité abdominale, j'ai poussé directement dans un de ces canaux veineux le liquide tenant en suspension la poussière jaune ou bleue, et j'ai vu ce mélange s'épancher de suite dans la cavité viscérale, puis arriver aux poumons, comme d'ordinaire.

Enfin, comme dernière épreuve, j'ai soumis à l'examen microscopique le sang puisé directement dans le ventricule du cœur, ainsi que le liquide épanché dans la cavité abdominale d'un Colimaçon vivant, et je n'ai pu apercevoir aucune différence entre ces deux fluides; l'un et l'autre charriaient des globules en apparence identiques, et paraissaient avoir la même densité. J'en ai conclu que c'est du sang qui se trouve dans la cavité viscérale aussi bien que dans les cavités du cœur.

Ainsi, chez le Limaçon, le liquide nourricier distribué dans toutes les parties de l'économie par les tubes rameux dont se compose le système artériel revient, soit par des veines, soit par des lacunes seulement, vers la cavité viscérale, s'épanche dans cette cavité, baigne le tube digestif, et pénètre ensuite dans d'autres canaux destinés à le mettre en contact avec l'air et à le porter jusque dans le cœur aortique (1).

Il en est de même pour tous les Mollusques gastéropodes chez lesquels j'ai examiné, par des moyens analogues, la manière dont le sang circule, et si je cite de préférence le Lima-

(1) *Voyez* les planches 3 et 4.

çon, c'est seulement parce que cet animal est si commun dans nos campagnes, et même sur nos marchés, que quiconque voudra répéter mes expériences pourra le faire sans retard. Ce n'est même pas sur ce Mollusque que j'ai d'abord constaté les faits dont je viens d'avoir l'honneur d'entretenir l'Académie; c'est sur le grand Triton de la Méditerranée que j'ai fait mes premières expériences, et je dépose sur le bureau une figure que j'ai dessinée à Milazzo, et qui montre non-seulement une portion considérable du système veineux, rempli par du bleu de Prusse injecté dans la cavité abdominale, mais aussi *les grands orifices béants par lesquels ces vaisseaux débouchent dans cette même cavité.*

Pendant mon séjour sur les côtes de la Sicile, j'ai également étudié l'appareil circulatoire de l'Aplysie, Mollusque chez lequel la communication entre le système sanguin et la cavité abdominale avait été si bien constatée par Cuvier, mais avait été considérée par cet anatomiste célèbre comme une anomalie des plus singulières (1). Quelques doutes sur l'exactitude de ces observations avaient été émis par Meckel (2) et par Carus (3); mais M. Delle Chiaje (4), dont tous les zoologistes connaissent et apprécient les grands travaux, a mon-

(1) « Sa structure, dit Cuvier, en parlant de la veine cave ou artère « branchiale, est même peut-être le fait le plus extraordinaire que la phy- « siologie des Mollusques m'ait encore offert. » Op. cit., pag. 13.

(2) Meckel, *Anatomie comparée;* trad. de Schuster, tome IX, p. 174.

(3) *Anatomie comparée;* trad. de Jourdan, tome II, p. 309.

(4) *Memorie sugli animali senza vertebre del regno di Napoli*, tom. I, p. 63; *Descrizione e notomia degli animali invertebrati della Sicilia citeriore*, tom. II, p. 73.

tré que Cuvier ne s'était pas trompé, et il a fait voir que le sinus criblé décrit par celui-ci communique avec un système lacuneux sous-cutané. Cependant l'appareil vasculaire de l'Aplysie ne me semblait pas être suffisamment connu, car M. Delle Chiaje lui-même déclare que la circulation veineuse chez ce Mollusque est encore pour lui un phénomène inexplicable (1).

En injectant sur des Aplysies vivantes des liquides colorés dans diverses parties du cercle circulatoire, je me suis bientôt convaincu de l'entière exactitude des faits avancés par Cuvier; j'ai vu, comme M. Delle Chiaje l'avait vu avant moi, que ce n'est point par l'intermédiaire de vaisseaux que le sang arrive aux branchies; c'est une grande lacune semicirculaire comprise entre les faisceaux musculaires, les brides celluleuses et les téguments du manteau qui remplit ici les fonctions d'une veine cave; et, par ses extrémités antérieures, cette lacune communique librement avec la cavité viscérale (2). Le sang veineux y arrive en partie par d'autres lacunes sous-cutanées, situées le long de ce canal dépourvu de parois propres; mais la plus grande partie du liquide nourricier y pénètre par les orifices terminaux dont je viens de parler, et provient par conséquent de la cavité abdominale. J'ai vu, de plus, que cette grande chambre viscérale n'est point tapissée par une membrane péritonéale continue, mais par une tunique celluleuse, criblée d'une multitude de trous

(1) « La circulazione venosa della Aplysie e stata finora un problema, « ed encora per me d' impossibile soluzione. » *Descrizione e Notomia*, tom. II, p. 71. Naples, 1841.

(2) Planche 6, fig. 3.

irréguliers, ou plutôt par une couche membraniforme, composée de brides celluleuses, entre-croisées en deux sens, et placées sur plusieurs plans, de façon à laisser entre elles des lacunes en communication les unes avec les autres (1). Ces trous irréguliers, dont les parois de la cavité abdominale sont percées, communiquent à leur tour avec un vaste système de lacunes formées par l'entre-croisement des rubans musculaires du pied et du manteau ; enfin ces espaces intermusculaires se continuent sans interruption avec le réseau lacuneux sous-cutané découvert par M. Delle Chiaje ; et c'est ce vaste ensemble de lacunes qui tient lieu de veines, vaisseaux dont les Aplysies sont complétement dépourvues. En effet, le sang distribué aux organes par un système de tubes artériels très-développé se répand dans toutes ces lacunes, et parvient de la sorte dans la cavité abdominale, qui fait ici l'office d'un vaste réservoir, et transmet le liquide nourricier à l'appareil respiratoire, qui, à son tour, l'envoie au cœur, chargé de le chasser dans les artères.

Pour s'en convaincre, il suffit de pousser un liquide coloré dans le canal afférent de la branchie, car on voit de suite l'injection pénétrer dans toutes ces lacunes, soit directement, soit par l'intermédiaire de la cavité abdominale, et en injectant le liquide dans les espaces intermusculaires d'une partie quelconque du corps, on peut le faire avancer en sens inverse, et le faire parvenir jusque dans les vaisseaux de la branchie.

En variant de diverses manières ces expériences, faites

(1) Planche 7.

toutes sur des animaux vivants, et en disséquant avec une grande attention les différentes parties de l'appareil circulatoires de l'Aplysie, j'ai vu ce résultat se confirmer toujours, et j'ai compris aussi pourquoi la circulation veineuse était restée, dans l'opinion de M. Delle Chiaje, une question insoluble. Effectivement, je me suis assuré que l'*appareil aquifère* décrit par ce savant, et considéré par lui et par quelques autres anatomistes comme un complément de l'organe respiratoire, n'est autre chose qu'une portion du vaste système lacunaire qui, dans le corps de l'Aplysie, tient lieu de veines (1). Il n'existe pas, ainsi que le soupçonne l'habile anatomiste de Naples, des orifices destinés à l'établissement d'une communication directe entre ces lacunes ou la cavité abdominale et l'extérieur ; et si de l'eau s'y introduit quelquefois en quantité considérable, c'est seulement par l'effet d'un phénomène d'endosmose. La turgescence qu'on observe souvent chez les Aplysies est une conséquence de l'absorption veineuse, et non pas de l'introduction directe de l'eau du dehors, à l'aide de canaux débouchant à la surface du corps. Les injections du système lacunaire, et même la simple insuflation de ces cavi-

---

(1) Un observateur distingué, M. Van Beneden, professeur à l'Université de Louvain, paraît être arrivé, de son côté, à une opinion analogue; car, dans une lettre qu'il adressa à l'Académie, en 1835, on lit le passage suivant : « Après des recherches minutieuses sur les organes « de la circulation dans les Aplysies, je crois avoir reconnu une véritable « fusion du système nerveux avec le système aquifère de M. Delle Chiaje. » (Comptes rendus, séance du 20 octobre 1835.) Malheureusement M. Van Beneden n'est pas entré dans d'autres détails à ce sujet. (*Voy.* le Compte rendu de la séance du 24 février 1845.)

tés veineuses, prouvent suffisamment qu'il n'y a pas d'orifices semblables; et, d'un autre côté, si l'on tient compte des expériences de notre savant collègue M. Magendie, relatives aux lois de l'absorption veineuse chez les animaux supérieurs, on peut facilement se rendre compte de l'introduction rapide d'une quantité considérable d'eau dans l'intérieur du corps, par la seule force endosmotique, lorsque l'affaiblissement de l'irritabilité musculaire détermine une diminution correspondante dans la pression à laquelle les liquides de l'économie se trouvent d'ordinaire soumis. Or, c'est précisément dans des circonstances de nature à produire ce relâchement dans les parois des cavités sanguines, que la turgescence du Mollusque se déclare. J'ajouterai aussi que j'ai observé des phénomènes tout à fait analogues chez les Limaçons; et ces Mollusques étant destinés à vivre toujours à l'air, il serait difficile de croire que la nature les aurait pourvus d'un appareil aquifère dont les fonctions ne pourraient commencer que dans le cas très-rare où l'animal se noie.

Je n'hésite donc pas à dire que c'est une portion du système veineux interstitiaire de l'Aplysie qui a été décrite par M. Delle Chiaje comme étant un appareil aquifère comparable, jusqu'à un certain point, aux trachées aérifères des insectes. En faisant des recherches analogues sur le grand Triton de la Méditerranée, j'ai acquis la conviction que ce sont aussi des canaux veineux que cet anatomiste a pris pour un système aquifère chez ce Mollusque (1); et si, comme je

---

(1) Descrizione di un nuovo apparato di canali aquosi scoperto negli animali invertebrati marini delle Due-Sicilie. (*Memorie sulla storia e no-*

le pense, il en est de même pour les autres Gastéropodes, il n'y aurait plus de difficulté pour faire concorder les nombreuses et intéressantes observations de M. Delle Chiaje, sur l'appareil circulatoire de ces animaux, avec les résultats que je viens de faire connaître. Effectivement, cet anatomiste a vu que, dans un nombre considérable de Mollusques gastéropodes, les veines sont remplacées, dans certaines parties du corps, par un réseau de simples lacunes, et viennent déboucher dans un grand réservoir qu'il considère comme un sinus veineux; or, ce sinus n'est autre chose que la cavité abdominale elle-même ou un prolongement de cette cavité au milieu des faisceaux musculaires du manteau, et c'est également avec elle que communiquent les prétendues trachées aquifères.

Ainsi la circulation semi-vasculaire, semi-lacuneuse, que j'avais signalée chez les Tuniciers, et que je viens de constater chez le Colimaçon, le Triton, l'Haliotide, etc., est probablement commune à tous les Mollusques gastéropodes. Là, de même que chez les Crustacés, la portion veineuse de l'appareil vasculaire manquerait toujours plus ou moins complétement, et le sang épanché dans les interstices que les divers organes laissent entre eux se rassemblerait dans la cavité abdominale avant que de se rendre à l'appareil respiratoire.

Il en est encore de même dans la classe des Mollusques acéphales. Les expériences que j'ai faites sur le grand Jam-

---

tomia degli animali senza vertebre del regno di Napoli, tom. II, p. 259.) — *Instituzioni di Anatomia e Fisiologia comparativa*, tom. I, p. 279. Naples, 1832.

bonneau de la Méditerranée ou Pinne marine, sur la Mactre et sur l'Huître commune, le montrent suffisamment; seulement, dans ces animaux, les viscères ne flottant pas dans la chambre abdominale, mais s'entremêlant d'une manière intime aux muscles du pied et aux brides sous-cutanées de la portion correspondante des téguments communs, ce sont de petites lacunes qui tiennent lieu du grand réservoir veineux représenté par la cavité viscérale des Gastéropodes. Du reste, ces espaces interviscéraux communiquent librement avec les méats qui, dans le pied de la Mactre, résultent de l'entrecroisement des bandes charnues, et, en poussant une injection colorée dans ces lacunes intermusculaires, on peut faire passer le liquide coloré jusque dans les vaisseaux des branchies et dans les canaux veineux du manteau. Mais dans le manteau, de même que dans le pied, il ne paraît pas y avoir de veines proprement dites, ou, en d'autres mots, des tubes à parois propres servant à porter le sang des tissus que ce liquide a nourris, vers le cœur ou vers l'organe spécial de la respiration. C'est un système de simples lacunes qui fait les fonctions du réseau formé par les vaisseaux capillaires chez les animaux supérieurs, et ces lacunes, presque microscopiques, débouchent dans d'autres méats qui, par leur disposition, ressemblent beaucoup à des veines proprement dites, mais sont dépourvus de parois indépendantes des parties voisines. Je reviendrai dans une autre occasion sur l'histoire anatomique et physiologique de ce système veineux lacunaire du manteau des Mollusques acéphales, et, en ce moment, j'ajouterai seulement que l'on y arrive facilement en injectant l'animal par les artères aussi bien que par les interstices de la cavité abdominale.

Il est aussi à noter que M. Delle Chiaje a vu ce réseau lacuneux dans le Pecten, et en a donné une très-belle figure; mais j'ignore s'il considère ces méats comme appartenant au système veineux ou à son système aquifère, car le texte explicatif de la planche relative à ce Mollusque n'a pas encore été publié (1).

Ainsi, chez les Acéphales lamellibranches, de même que chez les Acéphales sans coquilles ou Tuniciers, et chez les Gastéropodes, l'appareil vasculaire est incomplet, et une portion plus ou moins considérable du système veineux est

---

(1) Voyez *Descrizione e notomia degli animali invertebrati della Sicilia citeriore*, tom. III, tab. 75. (Au premier abord, on pourrait croire qu'il s'est glissé quelque erreur dans la citation que je viens de faire, car chacun des cinq volumes de ce nouvel ouvrage de M. Delle Chiaje porte sur le titre la date de 1841; mais cela paraît tenir à ce que l'auteur commence l'impression de ses ouvrages par le titre, tandis qu'en France on a l'habitude de terminer par ce feuillet, qui alors sert à constater le millésime de la publication. En effet, la santé de M. Delle Chiaje ne lui ayant pas permis de poursuivre l'impression de son livre avec toute son activité accoutumée, le troisième et le cinquième volume étaient inachevés lors de mon passage à Naples, en juillet 1844, et le sont probablement encore à l'heure qu'il est. Le troisième volume s'arrête à la page 44, pour reprendre à la page 69, et s'interrompt de nouveau page 140. Quant au cinquième volume, il s'arrêtait à la page 68. Il est aussi à noter que, parmi les planches destinées à former l'atlas de cet ouvrage intéressant, il y en a plusieurs qui ne sont encore qu'esquissées, bien que les cuivres portent le millésime de 1841, ou quelque autre date plus ou moins reculée. Cette circonstance serait à noter, si dans la suite on s'occupait de l'historique des découvertes faites depuis vingt ans sur l'organisation des animaux sans vertèbres; découvertes dont un grand nombre appartiennent incontestablement à M. Delle Chiaje.)

représentée par de simples lacunes, dans lesquelles le sang est épanché entre les organes.

Au premier abord, on pourrait croire que les Mollusques supérieurs dont se compose la classe des Céphalopodes font exception à cette règle, et possèdent un appareil vasculaire complet, c'est-à-dire un système circulatoire dont toutes les parties sont constituées par des tubes à parois propres. En effet, Cuvier, dans son grand travail sur l'anatomie du Poulpe, a fait connaître un système vasculaire veineux, aussi bien qu'un système artériel, et ces veines sont bien des tubes à parois propres, comme le sont les veines des animaux supérieurs. Monro (1) et Hunter (2) ont décrit les veines du Calmar et de la Seiche, et M. Delle Chiaje a représenté ces vaisseaux avec beaucoup plus d'exactitude qu'on ne l'avait fait jusqu'alors ; enfin, on connaît aussi les principales veines du Nautile, et, par conséquent, on peut, en généralisant ces faits particuliers, dire que, dans la classe des Céphalopodes, il existe toujours un système veineux vasculaire très-développé. MM. Owen et Valenciennes ont, il est vrai, constaté l'existence d'un nombre considérable de grands orifices à l'aide desquels la cavité de la veine principale du Nautile communique librement avec la cavité péritonéale; mais on pourrait ne voir dans cette disposition que les derniers vestiges du mode d'organisation que j'ai trouvé chez tous les Mollusques inférieurs, et on pourrait penser que le cercle

---

(1) *The structure and Physiology of Fishes explained and compared.* Edinburgh, 1785.

(2) Voyez *Descriptive and illustrated catalogue of the Hunterian Museum*, published by M. R. Owen, vol. II.

circulatoire des Céphalopodes est formé tout entier par des tubes, lors même que ces vaisseaux à parois membraneuses seraient perforés dans quelques points, de façon à ne pas emprisonner complétement le sang dans leur intérieur, du moins après la mort de l'animal, car quelques anatomistes ont supposé que, pendant la vie, ces pertuis ne sont pas béants.

Mais il n'en est pas ainsi, et je puis facilement prouver que chez les Céphalopodes, de même que chez les autres Mollusques, la cavité viscérale sert d'intermédiaire entre diverses parties de l'appareil vasculaire, et constitue réellement une portion du cercle circulatoire parcouru par le sang.

En effet, le sinus veineux découvert récemment par M. Delle Chiaje dans le Poulpe, n'est autre chose, ainsi que je le démontrerai facilement, que la cavité viscérale de cet animal (1), et je me suis assuré de la manière la plus positive :

1° Que des injections, même très-grossières, poussées dans la cavité où flottent l'estomac, le jabot, l'œsophage,

---

(1) Il ne faut pas confondre la cavité viscérale du Poulpe avec la chambre branchiale, ni avec les grandes poches membraneuses qui logent les troncs veineux dont les parois sont garnies des corps spongieux décrits par Cuvier. Ces poches, qui occupent presque toute la portion postérieure du corps, communiquent directement avec la chambre respiratoire par deux orifices, et recouvrent dans leur intérieur l'eau dont cette chambre est remplie. Mais il n'y a aucune communication entre ces poches et la grande cavité viscérale qui s'étend depuis la bouche jusqu'en arrière de l'estomac. L'intestin n'est pas libre comme l'est l'œsophage ou l'estomac, et c'est l'adhérence de sa surface avec la paroi interne de la tunique viscérale commune qui empêche le sang veineux de le baigner, comme cela a lieu chez les Gastéropodes.

l'artère aorte, les glandes salivaires et la masse charnue de la bouche, après avoir baigné la surface de tous ces organes, pénètrent dans les veines des autres parties du corps, traversent les cœurs pulmonaires et vont remplir les vaisseaux capillaires des branchies ;

2° Que les veines profondes des bras, les veines des yeux et celles des parties charnues voisines débouchent dans cette cavité viscérale, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une grande lacune ou sinus situé au fond de chaque orbite, et que le sang veineux, pour se rendre des veines dont il vient d'être question dans les cœurs pulmonaires, traverse toujours la cavité viscérale;

3° Que cette dernière cavité communique aussi directement avec la partie postérieure de la grande veine cave par deux vaisseaux d'un calibre considérable (1).

Dans un autre Mémoire, je présenterai une description détaillée de ces diverses parties de l'appareil circulatoire du Poulpe; aujourd'hui je me bornerai à placer sous les yeux de l'Académie quelques dessins représentant le système veineux injecté par l'intermédiaire de la grande cavité viscérale, qui, elle-même, est distendue par le liquide coloré dont les veines sont remplies.

Dans le Calmar commun (2), il existe aussi une portion du système circulatoire qui, au lieu d'être formée par des vaisseaux, se compose uniquement de lacunes et d'une cavité servant en même temps de chambre viscérale et de sinus veineux; seulement cette cavité est beaucoup moins vaste que

---

(1) Planche 1.

(2) Planches 2 et 3.

chez le Poulpe et ne dépasse guère la partie céphalique du corps. Cette modification s'explique du reste très-facilement; car, ici, l'estomac et l'œsophage, au lieu d'être suspendus dans une cavité abdominale, comme chez le Poulpe, adhèrent intimement à la tunique viscérale commune, de façon que la cavité elle-même est oblitérée dans toute sa portion postérieure, et ne persiste que là où elle loge l'extrémité antérieure de l'œsophage et la masse buccale, et là elle remplit, comme d'ordinaire, les fonctions d'un sinus veineux. Aussi suffit-il d'injecter un liquide coloré dans la cavité viscérale, réduite ainsi à sa portion céphalique, pour remplir aussitôt les veines de toutes les parties du corps. Les préparations déposées sur le bureau et représentées dans les planches 2 et 3 ont été faites de la sorte; l'injection bleue poussée dans la cavité contenant la portion antérieure du canal digestif a passé de la grande veine cave dans les veines du manteau, des viscères et des bras, a rempli les cœurs pulmonaires, et est arrivée jusque dans les branchies.

Les faits dont je viens d'entretenir l'Académie me semblent être assez nombreux et assez variés pour autoriser les conclusions que j'ai rappelées au commencement de ce Mémoire.

Le Poulpe et le Calmar, parmi les Céphalopodes; le Colimaçon, le Triton, l'Haliotide et l'Aplysie, dans la classe des Gastéropodes; la Mactre, la Pinne et l'Huître, dans la grande division des Acéphales; enfin les Biphores et les Ascidies sociales et composées, dans le groupe des Tuniciers, m'ont offert, *tous*, un appareil circulatoire plus ou moins incomplet, dans lequel les veines manquent en totalité ou en partie, et sont remplacées, là où elles manquent, par la ca-

vité viscérale elle-même, et par d'autres espaces libres que les organes intérieurs ou les matériaux constitutifs des tissus laissent entre eux. D'un autre côté, il n'est aucun Mollusque qui m'ait offert un système clos de vaisseaux sanguins, et les observations recueillies avant que l'attention des zoologistes ne fût éveillée sur ce point ne fournissent aucun argument solide en faveur de l'existence d'un appareil vasculaire complet dans une espèce quelconque appartenant à ce grand embranchement du règne animal. La disposition du système circulatoire que j'ai rencontrée partout où j'ai eu l'occasion de l'étudier, ne peut donc être, à mes yeux, un mode d'organisation exceptionnel chez les Mollusques, et il me semble, au contraire, légitime de conclure que chez tous les animaux conformés d'après le même plan général que le Poulpe, le Calmar, le Limaçon, le Triton, l'Aplysie, l'Haliotide, l'Huître, la Mactre, la Pinne, les Biphores et les Ascidies, cette fonction doit offrir d'une manière plus ou moins marquée le même caractère. Nous voyons, il est vrai, le système des cavités destinées à contenir et à distribuer le fluide nourricier se perfectionner progressivement et se revêtir de parois tubulaires dans une portion de plus en plus considérable du cercle circulatoire, à mesure que l'on s'élève des Molluscoïdes les plus inférieurs jusqu'aux Céphalopodes. En effet, chez les Bryozoaires, qui sont les représentants les plus dégradés du type des Malacozoaires, il n'existe aucune trace ni de cœur, ni d'artères, ni de veines, et, ainsi que je m'en suis assuré maintes fois, le liquide qui tient lieu de sang est contenu dans la grande cavité viscérale au milieu de laquelle flottent les organes de la digestion. Chez les Molluscoïdes tuniciers, il existe déjà un cœur et un système de tubes san-

guifères dans la portion branchiale de l'économie; mais il n'y a ni artères ni veines dans la portion viscérale ou abdominale du corps. Chez l'Huître, la Mactre et l'Aplysie, le système artériel se complète, mais il ne paraît y avoir nulle part, si ce n'est dans les branchies, un lacis de véritables vaisseaux pour remplir les fonctions de réseau capillaire, et il n'y a pas encore de veines proprement dites pour ramener le sang des divers organes vers l'appareil de la respiration. Chez le Triton et le Colimaçon, nous avons reconnu un degré de plus dans le perfectionnement du système circulatoire, car les veines commencent à se constituer sous la forme de tubes membraneux dans certaines parties de l'économie, bien qu'elles manquent encore, et sont remplacées par de simples lacunes dans le système musculaire et dans l'espace compris entre les principaux viscères et l'organe respiratoire. Chez le Poulpe, la portion vasculaire du système veineux se développe davantage; enfin, chez le Calmar, il n'y a de grandes lacunes faisant office de veines qu'autour de la portion antérieure du tube digestif, et, dans tout le reste du cercle circulatoire, le sang est renfermé dans des tubes dont les parois sont indépendantes des organes voisins.

D'après cette progression, on concevrait facilement la possibilité d'un degré de plus dans le développement vasculaire, perfectionnement qui amènerait d'une manière complète la transformation de toutes les lacunes sanguifères en tubes fermés, et qui rendrait sous ce rapport le système circulatoire d'un Mollusque semblable à l'appareil vasculaire des animaux vertébrés. Mais il y a tout lieu de croire que cela n'a jamais lieu, car le Poulpe et le Calmar sont les représentants les plus élevés du type propre à l'embranchement des

Malacozoaires ; et puisque chez ces Mollusques, les plus parfaits de tous, la cavité viscérale tient encore lieu d'une portion du système veineux, il n'est pas probable qu'un appareil vasculaire complet se rencontrera ailleurs. Du reste, lors même qu'il en serait ainsi, cela ne changerait que peu la portée des faits dont il vient d'être question, car le mode de circulation semi-lacuneuse sur lequel j'ai appelé l'attention de l'Académie n'en demeurerait pas moins un des caractères dominants dans le type malacologique.

Il serait inutile, ce me semble, d'insister ici sur l'influence qu'une pareille organisation doit exercer sur le mécanisme de quelques autres fonctions, telles que l'absorption, soit générale, soit chyleuse, et les mouvements érectiles ; car il suffit de savoir que le sang baigne directement la surface externe d'une portion plus ou moins considérable du canal digestif, pour comprendre aussitôt comment les matières alimentaires liquéfiées par l'action des sucs gastriques ou intestinaux, peuvent se mêler rapidement au fluide nourricier sans qu'il y ait ni veines ni vaisseaux chylifères pour les y conduire. Il suffit aussi d'un instant de réflexion sur le rôle qu'un liquide répandu dans un vaste système de lacunes extensibles et contractiles peut jouer dans le mécanisme des mouvements de l'animal, pour voir également que cette disposition anatomique doit être la cause des phénomènes d'érection que nous offrent souvent le pied des Acéphales ou les tentacules des Gastéropodes. Je ne m'arrêterai donc pas sur ces considérations ; mais il serait bon peut-être d'examiner jusqu'à quel point les faits fournis par l'étude de la circulation chez les Mollusques peuvent venir en aide à la physiologie des animaux supérieurs, relativement à la question

de la nature intime et du mode de formation des vaisseaux sanguins en général. Aujourd'hui je ne pourrais aborder une discussion de ce genre sans abuser de l'attention que l'Académie a bien voulu me prêter, mais j'y reviendrai lorsque j'aurai fait connaître mes nouvelles recherches sur la circulation chez les Crustacés.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

Appareil circulatoire du poulpe a longs bras (*Octopus Macropus*).

Les tentacules ont été enlevés et le corps de l'animal ouvert latéralement; enfin, la branchie droite a été rejetée de ce côté pour mettre à découvert la communication de la cavité viscérale avec les grosses veines. L'injection du système veineux tout entier a été faite directement par cette cavité, et celle du système artériel par l'un des canaux branchiocardiaques.

a, *a* le manteau fendu et rejeté de côté.

a', *a'* portion de la peau du manteau séparée de la couche musculaire pour montrer les veines nombreuses qui y rampent.

a'' la chambre respiratoire du côté gauche restée intacte ; la cloison médiane qui sépare cette cavité de la chambre branchiale du côté droit, et qui s'étend du manteau à la face inférieure de l'abdomen, se voit en J.

b grande cavité viscérale ouverte pour montrer les glandes salivaires, l'œsophage et l'aorte qui y sont logés, et y sont baignés par le sang veineux.

c fond de la portion moyenne de ce grand sinus veineux renfermant le gésier.

d portion postérieure du même sinus renfermant l'estomac spiral.

e canal veineux inférieur venant du fond du grand sinus, formé par la cavité viscérale, et recevant ses branches veineuses des organes de la génération, de l'intestin, du foie, etc.

f canal veineux supérieur venant de la portion moyenne du sinus abdominal, et se réunissant au précédent pour constituer de chaque côté du corps un tronc transversal qui s'anastomose avec la grande veine céphalique pour donner naissance aux veines caves.

g corps spongieux adhérant au tronc veineux commun dont il vient d'être question.

h, *h* grande veine céphalique qui suit la face inférieure de l'abdomen.

i veines des tentacules se réunissant pour constituer la veine céphalique.

i' veines cutanées des tentacules.

j veines cutanées du manteau.

k veines de l'entonnoir allant déboucher dans la grande veine céphalique.

l veines anales dont les branches viennent de la portion terminale de l'intestin et de la cloison médiane de la chambre branchiale.

m veine palliale inférieure, qui naît sur la portion inférieure du manteau, et passe dans l'épaisseur de la cloison médiane pour aller déboucher dans la grande veine céphalique.

n l'une des veines caves, garnie de ses corps spongieux, et allant déboucher dans le cœur branchial correspondant.

o, *o* l'une des veines latérales du manteau coupée vers le point où elle sort de la couche musculaire pour contourner la base de la branchie et aller déboucher dans la veine cave.

p cœur branchial du côté droit renversé en dessous.

p' vaisseau afférent à la branchie, ou artère branchiale, qui naît de ce cœur, et qui distribue le sang veineux aux feuillets branchiaux.

q vaisseau branchial efférent ou branchio-cardiaque.

r oreillette droite du cœur formée par une dilatation contractile de la portion terminale du canal branchio-cardiaque.

s ventricule aortique.

t origine de la grande artère aorte ou aorte antérieure.

t' portion supérieure de la même artère, logée dans le grand sinus veineux.

u artère génitale profonde.

x branches de l'artère aortique postérieure allant à l'anus.

x' branche de la même artère se distribuant au manteau.

y artère nourricière de la branchie et du cœur veineux.

z artère dorsale se distribuant à la portion supérieure et antérieure du manteau.

A portion terminale de l'intestin.

B portion inférieure de l'intestin.

C œsophage.

D, D glandes salivaires postérieures.

E testicule.

F conduit excréteur de la poche à encre.

G foie.

H entonnoir ouvert.

J cloison médiane de la chambre branchiale.

K portion de la paroi inférieure de l'abdomen et du pilier charnu postérieur de la chambre branchiale.

L œil.

M membrane tégumentaire de l'abdomen, formant la paroi interne de la chambre respiratoire.

PLANCHE II.

Appareil circulatoire du calmar.

L'animal est vu en dessous; le manteau est fendu longitudinalement; le sac péritonéal est également ouvert pour mettre à nu les veines, et les deux veines caves sont séparées pour montrer le cœur.

a grand sinus veineux de la tête, dont une portion a été mise à découvert par l'ablation des téguments et des muscles voisins.

b portion antérieure de la même cavité entourant la bouche.
c, *c*, *c* veines des bras allant déboucher dans ce sinus.
d sinus ophthalmique.
d' veine de l'iris allant déboucher dans le sinus ophthalmique.
g grande veine céphalique naissant du sinus céphalique.
g' veines de l'entonnoir.
h veines caves garnies de corps spongieux.
i veines hépatiques.
j' veines génitales.
k, *k* veines du manteau.
l, *l* veines des nageoires, se dilatant beaucoup avant de se joindre aux veines caves.
m, *m* cœurs pulmonaires.
n canal afférent à la branchie.
o vaisseau branchial efférent ou branchio-cardiaque.
p cœur aortique.
q artères du manteau naissant de l'aorte postérieure.
q' artères de la nageoire.
r artère aorte.
A tête.
A' bouche.
F foie.
G gésier.
H estomac en cul-de-sac.
I testicule.
K canal efférent.
L rectum.
M sac à encre.
O branchies.
P manteau.
P' paroi interne de la chambre branchiale.
P'' feuillet péritonéal de cette paroi.
Q entonnoir.

PLANCHE III.

Appareil circulatoire du calmar.

Fig. 1. *Le corps de l'animal a été ouvert latéralement, les bords du manteau écartés, et l'abdomen fendu pour mettre à nu les viscères.*

a grand sinus veineux formé par la cavité qui loge la masse buccale, les glandes salivaires antérieures, etc. Pour mettre cette cavité à découvert, on a enlevé les téguments et les muscles de la face supérieure de la tête.

b paroi antérieure de cette cavité, formant un anneau entre la lèvre et la base des bras.

c, *c*, *c* veines des bras allant déboucher directement dans le sinus céphalique.

d sinus ophthalmique occupant toute la partie postérieure de l'œil, et renfermant dans son intérieur la glande choroïdienne, le ganglion optique, etc.

e sinus crânier logeant le cerveau, et communiquant avec le sinus céphalique antérieur par un canal étroit où se trouve l'œsophage.

f veines des glandes salivaires et de la portion antérieure du foie allant s'ouvrir dans le sinus crânier.

g portion postérieure de la grande veine céphalique.

h corps spongieux garnissant les divisions de ce vaisseau, ou veines caves qui se rendent aux cœurs pulmonaires.

i veines hépatiques rampant sur la face antérieure du foie, dont l'un des lobes postérieurs a été relevé et rejeté de côté pour montrer les parties situées au-dessous.

j veines gastriques.

j' branche de la veine gastrique venant du testicule.

k veines palliales.

k' branche de cette veine naissant dans l'épaisseur de la tige de la branchie.

l, l veines des nageoires.

l' section de l'une de ces veines, au point où elle traverse les parois dorsales de la cavité du manteau.

l'' branches de la même veine naissant entre les fibres musculaires de la nageoire.

m, m cœurs pulmonaires logés dans leurs poches péricardiques (*p*).

n vaisseau afférent de la branchie droite ou artère branchiale.

o vaisseau efférent de la branchie se rendant au cœur aortique.

q artère aorte postérieure.

q' artères de la nageoire.

r artère gastrique.

s artère aorte antérieure.

t artère œsophagienne.

u artères palliales supérieures.

x artères cervicales.

*g** artère ophthalmique.

A tête.

B manteau.

C cavité de la coquille.

D glandes salivaires.

E œsophage.

F foie.

G gésier.

H estomac en cul-de-sac.

I testicule.

J réservoir spermatique.

K conduit déférent.

Q entonnoir.

Fig. 2. Section transversale de la branchie.

a, a lobes branchiaux dont les bords externes sont libres.

b tige de la branchie.

b' membrane qui fixe cette tige à la paroi externe de la chambre respiratoire formée par le manteau.

c plexus veineux occupant l'intérieur de cette tige.

d, d vaisseaux qui naissent du conduit afférent (*e*), et qui distribuent le sang veineux aux feuillets branchiaux.

f, f vaisseaux qui reçoivent le sang artériel de ces feuillets, et le versent dans le canal efférent, ou vaisseau branchio-cardiaque *g*.

PLANCHE IV.

Appareil circulatoire du colimaçon.

Fig. 1. *Dans cette préparation, le système veineux a été injecté en bleu par la cavité abdominale au-devant de l'un des tentacules, et la chambre pulmonaire fendue dans toute sa longueur; la portion du cercle circulatoire qui renferme le sang artériel est injectée en rouge.*

a plancher de la chambre pulmonaire, soulevé par l'injection dont la cavité abdominale est remplie.

b canal veineux longeant l'intestin.

c canal veineux se rendant du bord antérieur du manteau à la cavité abdominale.

d système de lacunes veineuses occupant le bord du manteau.

e vaisseaux afférents du réseau pulmonaire.

f vaisseau efférent du poumon, ou veine pulmonaire servant à porter le sang artériel au cœur.

g oreillette.

h ventricule.

Fig. 2. *Dans cette préparation, l'injection du système veineux a été faite comme dans la précédente, mais la cavité abdominale a été ensuite ouverte dans toute sa longueur.*

a la cavité abdominale.

b pertuis par lesquels le sang passe de la cavité abdominale dans le système lacunaire de la portion du bord du manteau qui entoure l'ouverture pulmonaire.

c portion terminale du canal veineux servant d'intermédiaire entre ces lacunes et les vaisseaux du poumon.

d portion suivante du même canal, rejetée en haut.

e pertuis par lesquels le sang passe de la cavité abdominale dans l'extrémité postérieure du canal veineux latéral qui se voit en place dans la figure 1 de la planche suivante (en *e*).

f réseau pulmonaire.

g vaisseau efférent du système pulmonaire, ou veine pulmonaire.

h vaisseaux qui naissent de la glande urinaire, et débouchant par un tronc commun dans la veine pulmonaire, près du cœur.

i oreillette.

j ventricule.

k origine de l'aorte.

l artère génitale.

m branche de l'artère intestinale dont les divisions se ramifient sur la glande urinaire, le rectum, les lobes antérieurs du foie et la glande génitale accessoire (ou testicule, Cuvier).

n branche gastrique de l'artère précédente.

o, *o* artère abdominale.

p artère aorte.

A voûte de la chambre pulmonaire.

A' bord du manteau.

A'' portion droite du même rebord.

B rectum.

C conduit excréteur de l'appareil urinaire.

D glande urinaire.

E estomac.

F foie.

G ovaire (Cuvier), ou plutôt glande ovospermagène.

H première portion du canal génital commun (oviducte, Cuvier).

I glande accessoire de l'oviducte (testicule, Cuvier).

J portion terminale de l'oviducte, portant l'artère génitale.

K appareil copulateur.

L glandes multifides.

PLANCHE V.

Fig. 1. Un colimaçon dont les artères et les veines ont été injectées, vu du côté droit.

a l'oreillette.
b la veine pulmonaire ou vaisseau efférent de l'appareil respiratoire.
c vaisseaux afférents du poumon.
d, *d* canal veineux du tortillon.
e point dans lequel ce canal communique librement, soit avec la cavité abdominale, soit avec le canal veineux susintestinal *f*, dont les branches se distribuent au réseau pulmonaire.
g veine sous-intestinale.
A poumon.
B pied.
C pneumostome.
D appareil urinaire.
E masse viscérale formée principalement par le foie et la glande ovospermagène.

Fig. 2. Système artériel du colimaçon.

Le corps de l'animal, vu en dessus, a été fendu dans toute sa longueur, et la plupart des viscères ont été rejetés un peu à droite.
a l'oreillette.
b le ventricule.
c origine de l'aorte.
c' tronc de l'aorte.
d artère abdominale, se distribuant au foie, à l'intestin et aux organes génitaux.
d' artère intestinale.
e, *e* artères musculaires.
f artères salivaires.

g artère pédieuse.
h artère du plancher pulmonaire.
i artère génitale antérieure.
A bulbe charnu de la bouche.
B premier estomac.
B′ glandes salivaires.
C second estomac.
D intestin coupé dans le point où il va se recourber sous le cœur en contournant l'aorte.
D′ suite de l'intestin.
E rectum.
F foie.
G glandes génitales.
H oviducte.
I vésicule copulatrice (vessie à long col, Cuvier.)
J appendices multifides.
K vestibule génital.
K′ poche du dard.
L canal éjaculateur.
M appendice vermiforme du pénis.
N pénis.
N′ muscle rétracteur du pénis.
O Ganglions cérébroïdes.
P poumon.
Q, Q muscles rétracteurs des tentacules.

PLANCHE VI.

Fig. 1. *Portion de la voûte pulmonaire du colimaçon, grossi pour montrer la disposition des sinus lacuneux qui conduisent le sang veineux aux vaisseaux du poumon. Dans cette préparation, l'injection a été faite par la cavité abdominale.*

a section de l'intestin rectum.

b conduit excréteur de l'appareil urinaire.

c tronc veineux qui longe le bord inférieur de l'intestin.

d orifices qui versent le sang de cette veine dans les lacunes qui entourent l'intestin (*e*), lesquelles donnent naissance aux vaisseaux afférents du poumon *f f*.

g, *g* vaisseaux efférents du poumon.

Fig. 2. *Appareil circulatoire de l'aplysie.*

Le système veineux a été injecté par l'extrémité antérieure de la cavité abdominale, et le système artériel par la branchie ; puis les lobes du manteau ont été écartés et la coquille enlevée pour montrer l'appareil secréteur du pourpre.

a le cœur.

a' troncs veineux du sac de la coquille.

b canal veineux recevant le sang du vaisseau précédent, communiquant librement avec la cavité abdominale par sa partie antérieure, et se rendant à la branchie.

c canal lacuneux recevant d'autres veines de la glande du pourpre et allant déboucher dans la cavité abdominale au-devant du cœur, à droite.

d artère du sac coquillier.

e lobe anal.

f, *f* artères des lobes du manteau.

g artère qui se distribue aux bords du sillon génital.

Fig. 3. *Portion du même, grossi et ouvert en dessus.*

a oreillette du cœur.

b ventricule.

c artère aorte.

d artères de l'estomac.

e artère qui naît de l'aorte et se rend à l'organe du pourpre.

f grand sinus veineux formé par la cavité abdominale:

g canal veineux venant de l'organe du pourpre, et allant déboucher dans la cavité abdominale au-devant du cœur, du côté droit. Ce canal se voit en *c* dans la figure précédente.

h ouverture par laquelle la cavité abdominale communique avec le grand conduit afférent de la branchie, au-devant de la masse hépatique.

i ce conduit ouvert dans toute sa longueur, et montrant à son extrémité postérieure une grande ouverture par laquelle il communique avec la portion postérieure de la cavité abdominale.

j l'un des vaisseaux veineux de l'organe du pourpre.

k vaisseau afférent, ou canal veineux de la branchie.

l vaisseaux efférents de la branchie.

m tissu lacuneux de l'organe du pourpre en communication avec ce dernier vaisseau, et contenant du sang artériel; au centre de l'organe du pourpre, on voit la cavité dont cet appareil sécréteur est creusé.

n fenêtre branchiocardiaque.

o orifice génital.

p anus.

q, *q*, *q*, *q* section des lobes du manteau.

PLANCHE VII.

Appareil circulatoire de l'aplysie.

L'animal a été ouvert dans toute sa longueur, pour montrer le grand sinus veineux formé par la cavité abdominale, et les lacunes qui y aboutissent de toutes parts. Ces lacunes, ainsi que le vaisseau afférent ou artère branchiale, ont été injectées en bleu par la cavité abdominale, tandis que le système artériel a été injecté en rouge par la veine branchiale ou vaisseau branchio-cardiaque.

a l'oreillette.

b le ventricule du cœur.

c la crête garnissant la crosse de l'aorte.
d tronc de l'aorte.
e artère intestinale, fournissant les artères hépatiques.
f artère gastrique.
g, *g* artères pédieuses.
h, *h* artères des lobes du manteau.
i artères céphaliques.
j artères pharyngiennes.
k artère génitale, artère de la glande en grappe, etc.
l, *l*, *l*, *l* lacunes veineuses du manteau.
m, *m* lacunes veineuses du pied.
n orifice par lequel la portion postérieure de la cavité abdominale communique directement avec le canal afférent de la branchie.
o ce canal.
p canal efférent ou branchio-cardiaque.
A bulbe pharyngien.
B œsophage.
C l'un des muscles rétracteurs du pharynx.
D premier estomac.
E second estomac.
F intestin.
G foie.
H glande ovospermagène (ovaire, Cuv.)
I oviducte.
J glande génitale accessoire (testicule, Cuvier.)
K bouche.
L organe en grappe.
M organe copulateur.
N orifice de cet organe.
O ganglions cérébroïdes.
P branchie.
Q portion du manteau.

NOUVELLES OBSERVATIONS

SUR LA CONSTITUTION DE L'APPAREIL

DE LA CIRCULATION

CHEZ LES MOLLUSQUES.

Par MM. MILNE EDWARDS et VALENCIENNES.

Lu dans la séance du 17 mars 1845.

Jusques en ces derniers temps, les zoologistes pensaient que la circulation du sang s'opère, chez les Mollusques, dans un système vasculaire *complet*, le liquide nourricier, après avoir été distribué dans toutes les parties de l'économie à l'aide des artères, revenant à l'organe respiratoire, puis au cœur, par l'intermédiaire de *tubes à parois membraneuses*, semblables aux veines des animaux vertébrés. Mais l'Académie se rappelle peut-être que des observations publiées récemment par l'un de nous (1) tendent à établir que cette opi-

(1) *Voy.* le *Moniteur* du 27 novembre 1844, et le *Compte rendu* de la séance du 3 février dernier.

nion est erronée, et que chez les Mollusques, ainsi que chez les Crustacés, une portion considérable du cercle circulatoire est constituée uniquement par les lacunes ou espaces de formes irrégulières que les divers organes laissent entre eux. Il a été constaté, en effet, que chez un certain nombre de Mollusques appartenant à la classe des Céphalopodes et à celle des Gastéropodes, ainsi que chez divers Acéphales et Tuniciers, les canaux qui remplissent les fonctions de veines débouchent en totalité ou en partie dans la grande cavité abdominale, de sorte que chez ces animaux le sang baigne directement les principaux viscères, et qu'en injectant dans l'abdomen un liquide quelconque, on injecte aussitôt le reste du système veineux. Mais on pouvait douter encore de la généralité de cet état imparfait de l'appareil de la circulation dans le vaste embranchement des Mollusques; et pour établir solidement ce résultat, il fallait étudier la marche du sang dans un plus grand nombre de types variés.

Désirant, l'un et l'autre, former notre opinion à ce sujet, nous nous sommes réunis pour exécuter en commun une série d'expériences et de dissections. Nos recherches ont porté d'abord sur des Mollusques que nos correspondants nous envoyaient à l'état vivant de divers points du littoral; mais bientôt nous avons pu étendre davantage le champ de nos investigations, car nous nous sommes assurés que ces animaux se laissent parfaitement bien injecter après qu'ils ont séjourné pendant fort longtemps dans des liquides conservateurs convenablement préparés, et l'un de nous (1), chargé de l'ensei-

---

(1) M. Valenciennes.

gnement de la Malacologie au Muséum, s'étant appliqué depuis plusieurs années à former une collection des animaux dont on se contentait jadis d'étudier la coquille seulement, et étant arrivé ainsi à des résultats très-considérables, il nous a été facile de varier beaucoup nos observations, et de les multiplier autant que cela nous a paru nécessaire.

Les préparations que nous avons faites ainsi sont au nombre de plus de cinquante, et nous avons l'honneur de placer une vingtaine de ces pièces sous les yeux de l'Académie. La plupart d'entre elles sont d'un assez grand volume pour être faciles à examiner sans le secours de la loupe, et les résultats qu'elles fournissent sont tellement nets et palpables, qu'il nous semble inutile d'entrer dans beaucoup de détails relativement aux conclusions qu'il faudra en tirer.

Sur le Poulpe et le Calmar, nous avons constaté de nouveau les faits déjà signalés par l'un de nous, et pour injecter le premier de ces mollusques, nous nous sommes servis tantôt de gélatine, tantôt du mélange de suif et de cire que l'on emploie à des usages analogues, dans les amphithéâtres d'anatomie humaine, pour l'injection des plus gros vaisseaux; en poussant ces substances dans la cavité péritonéale, nous les avons vues passer directement dans les veines et arriver aux cœurs pulmonaires.

En opérant de la même manière sur d'autres Céphalopodes appartenant aux genres Éledon, Argonaute, Seiche et Sépiole, nous avons obtenu le même résultat. Dans ces expériences, l'injection a toujours été faite par l'extrémité antérieure de la grande cavité viscérale, c'est-à-dire, dans l'espace compris entre la masse charnue de la bouche et la base des tentacules; le liquide coloré a rempli aussitôt le reste de la

chambre viscérale, et a pénétré dans les divers canaux veineux qui sont en communication directe avec cette cavité; de ces canaux l'injection est arrivée dans les cœurs pulmonaires, et, dans la plupart des cas, elle est parvenue jusque dans les branchies. Les préparations déposées sur le bureau ont été faites de la sorte, et sur quelques-unes d'elles nous avons mis à nu les grands canaux par lesquels la cavité viscérale ou péritonéale, comme on voudra l'appeler, se continue directement avec les grosses veines destinées à porter le sang aux deux cœurs pulmonaires. Ces communications sont surtout faciles à voir dans nos préparations de l'Argonaute et de l'Éledon.

Ainsi, ce n'est plus dans deux genres de Céphalopodes seulement que l'appareil de la circulation présente ce caractère remarquable de dégradation; à cet égard, les Seiches, les Sépioles, les Éledons et les Argonautes ne diffèrent pas des Poulpes et des Calmars, et, en rapprochant ces faits nouveaux des résultats obtenus plus anciennement par M. Owen et par l'un de nous en étudiant l'anatomie du Nautile, on peut dire aujourd'hui, sans réserves aucunes, que, dans la classe la plus élevée de l'embranchement des Mollusques, le sang ne se meut pas dans un système de vaisseaux fermés; que, chez les Céphalopodes, la portion veineuse du cercle circulatoire est toujours incomplète, et que, chez tous ces animaux, le fluide nourricier épanché dans la cavité viscérale baigne directement une portion plus ou moins considérable de la surface péritonéale du canal digestif.

Dans la classe des Gastéropodes, nous avons pu multiplier davantage nos recherches. Après avoir répété sur les Colimaçons et les Aplysies les expériences déjà faites par l'un

de nous, et en avoir obtenu des résultats analogues à ceux que nous ont fournis les Céphalopodes, nous avons injecté de la même manière le Buccin ondé (*Buccinum undatum*, Lam.), dont nous avions reçu un grand nombre d'individus vivants, grâce à l'obligeance de M. Bouchard-Chantereaux, médecin à Boulogne-sur-Mer; le liquide coloré, introduit dans la cavité abdominale de ce Mollusque, s'est répandu aussitôt dans le système lacunaire du pied et des organes extérieurs de la génération, a pénétré dans les veines du manteau et a rempli un système de vaisseaux qui prend naissance dans l'organe urinaire, mais qui reçoit la plus grande partie du sang venant du foie, des ovaires ou du testicule et des téguments du tortillon, et qui, ainsi que l'un de nous l'avait déjà constaté chez le grand Triton de la Méditerranée (*Triton nodiferum*, Lam.), constitue un appareil analogue au système de la veine porte rénale chez les reptiles et les poissons. Chez le Buccin, de même que chez le Triton, il est facile de s'assurer que le passage du liquide nourricier de l'intérieur des vaisseaux sanguins dans la grande cavité viscérale, et de cette cavité dans les canaux afférents aux organes de la respiration, n'est pas un phénomène d'exhalation et d'absorption; ce n'est point par les capillaires que la communication s'établit entre le système veineux et cette cavité, mais par des canaux qui ont souvent un diamètre de un ou deux millimètres, et qui s'abouchent directement avec elle.

Les préparations déposées sur le bureau montrent ces communications directes, et font voir aussi combien est développé dans certaines parties du corps, dans la glande urinaire par exemple, le système veineux dont les principaux troncs s'ouvrent directement dans la cavité abdominale.

Dans les genres Dolabelle et Notarche, nous avons trouvé l'appareil circulatoire tout aussi incomplet que chez les Aplysies. Les veines paraissent manquer entièrement, et les fonctions de ces vaisseaux sont remplies par un vaste système de lacunes répandues dans toutes les parties du corps, et en communication avec la cavité viscérale qui, à son tour, communique directement avec les canaux par lesquels le sang arrive dans les organes de la respiration. Dans une de nos préparations de l'appareil circulatoire chez les Dolabelles, le grand conduit afférent à la branchie a été ouvert ainsi que l'abdomen, et cette pièce fait voir combien est large l'orifice par lequel ce conduit prend naissance dans la cavité viscérale. En disséquant ces parties, nous avons eu soin d'examiner s'il n'existerait pas quelques valvules destinées à clore momentanément les ouvertures par lesquelles la cavité de l'abdomen communique avec le canal veineux de la branchie, et il nous a été facile de voir qu'aucune disposition de ce genre n'existe, de sorte que le passage est toujours ouvert.

La communication libre entre les vaisseaux branchiaux et la cavité destinée à loger les viscères, ainsi que la continuité de cette dernière cavité avec le système lacunaire du pied, des lèvres, du manteau, etc., sont également démontrées par les injections que nous avons faites sur un grand nombre de Mollusques gastéropodes appartenant aux genres Pleurobranche, Doris, Polycère, Tritonie, Scyllée, Oscabrion, Oscabrine (1), et en injectant également dans la cavité ab-

(1) Genre nouveau, voisin des Oscabrions et des Oscabrelles de Lamarck.

dominale des Patelles, des Ombrelles, des Ampullaires, des Turbos, nous avons vu le liquide coloré pénétrer immédiatement dans d'autres parties du système veineux. Nous ajouterons que, dans l'Onchidie, l'injection passe également de la cavité viscérale dans le lacis vasculaire du poumon.

Quant aux Éolides et aux genres voisins de ces Nudibranches, nous nous abstenons d'en parler pour le moment, car il existe, comme on le sait, des divergences d'opinions relativement à la manière dont la circulation s'effectue chez ces animaux. M. de Quatrefages avait annoncé que les Éoliens sont dépourvus de veines, et que le sang, pour revenir des diverses parties du corps vers le cœur, traverse des lacunes et la cavité abdominale elle-même; M. Souleyet, au contraire, assure que, chez ces Gastéropodes, l'appareil de la circulation est complet, et qu'il est même facile d'isoler les veines qui se portent des organes intérieurs vers les branchies. Une Commission, dont nous faisons partie, aura à se prononcer sur cette question, et, ne voulant pas nous séparer de nos collègues dans l'appréciation des faits dont l'Académie nous a renvoyé l'examen, on comprendra les motifs de notre réserve actuelle.

Laissant donc de côté tout ce qui est relatif aux Éolides, nous ne tirerons ici de nos propres recherches aucune conclusion absolue relativement à la disposition générale de l'appareil circulatoire dans la classe des Gastéropodes, et nous nous bornerons à dire que, si l'on peut juger de l'organisation de ce groupe naturel d'après la structure anatomique de vingt genres différents pris au hasard dans les différents ordres des Pulmonés, des Nudibranches, des Tectibranches, des Pectinibranches, des Scutibranches et des Cyclobran-

ches, il faudra admettre que chez les Gastéropodes, de même que chez les Céphalopodes, l'appareil vasculaire est incomplet, les veines manquent plus ou moins entièrement, et les canaux ou les lacunes destinés à porter le sang des diverses parties du corps vers les organes de la respiration, communiquent librement, en totalité ou en partie, avec la grande cavité au milieu de laquelle flottent le tube digestif et les principaux ganglions du système nerveux.

Les préparations que nous avons l'honneur de placer sous les yeux de l'Académie montrent ces communications entre la cavité abdominale et le système sanguin dans les genres Onchidie, Doris, Polycère, Tritonie, Scyllée, Aplysie, Dolabelle, Notarche, Ampullaire, Buccin, Patelle, Oscabrion et Oscabrine.

D'après cette masse de faits, il nous a paru inutile de chercher aujourd'hui, dans la classe des Acéphales à coquilles, de nombreux exemples de cette dégradation de l'appareil circulatoire que l'un de nous avait déjà constaté chez la Pinne marine, la Mactre et l'Huître, ni de multiplier davantage les observations faites précédemment sur la circulation semi-vasculaire et semi-cavitaire chez les Acéphales sans coquilles ou Tuniciers. Nous ajouterons, cependant, que tous les Acéphales dont nous avons examiné le système veineux nous ont offert ce mode d'organisation, et nous citerons comme exemples nouveaux les Bucardes, les Vénus et les Solens.

Mais il est, dans l'embranchement des Mollusques, une quatrième classe, celle des Ptéropodes, qui jusqu'ici n'avait pas été étudiée sous ce point de vue, et, pour compléter la série de nos observations, il devenait intéressant de soumettre

quelques-uns de ces animaux à des expériences analogues à celles dont nous venons d'entretenir l'Académie. Le défaut d'animaux suffisamment frais, ainsi que la petitesse de la plupart des Ptéropodes, ont été d'abord de grands obstacles; mais nous sommes parvenus à injecter deux Pneumodermes, et, chez ces deux animaux, nous avons vu le liquide coloré passer de la cavité viscérale dans les vaisseaux des branchies qui sont réunis en étoile à l'extrémité postérieure du corps.

Ainsi, quelle que soit la classe et quel que soit le genre ou l'espèce sur laquelle nous avons étudié le mode de circulation dans le grand embranchement des Mollusques, toujours le résultat a été le même. Partout nous avons trouvé l'appareil vasculaire plus ou moins incomplet; partout nous avons vu une portion plus ou moins considérable du système veineux, constituée par des lacunes seulement, et partout aussi nous avons constaté l'existence de communications libres et directes entre ce système et la grande cavité viscérale. Aujourd'hui que ce résultat est bien établi, on retrouvera peut-être dans les archives de la science beaucoup d'observations qui auraient pu mettre les zoologistes sur la voie de la vérité; mais la signification de ces faits n'avait pas été saisie, et pour en donner des preuves, il suffit de rappeler la manière nette et positive dont les naturalistes les plus éminents se sont prononcés sur ce point. Cuvier, par exemple, dont l'autorité est, aux yeux de chacun de nous, la plus grande que l'on puisse citer lorsqu'il s'agit d'anatomie comparée; Cuvier, qui avait découvert la disposition si remarquable des canaux afférents à la branchie dans l'Aplysie, disait formellement que « la classe entière des Mollusques jouit d'une circulation aussi

« complète qu'aucun animal vertébré (1). » Il supposait que les orifices, dont il avait constaté l'existence dans les gros canaux veineux des Aplysies, étaient des bouches seulement absorbantes, et cette opinion a été partagée par les auteurs qui, plus récemment, ont écrit sur le même sujet (2). C'est aussi par des phénomènes d'exhalation ou de perspiration et d'absorption ordinaire qu'on a cherché à expliquer la présence du sang dans la cavité abdominale de la Limace et le passage du liquide de cette grande lacune dans les vaisseaux du poumon. Mais nos préparations prouvent que la circulation, chez les Mollusques, ne se fait pas de la sorte. Ce n'est point par les radicules ou dernières divisions capillaires des veines que la cavité abdominale communique avec le reste du cercle circulatoire, ainsi que le pensait un zoologiste dont les observations ont été communiquées dernièrement à l'Académie (3). Ce sont, au contraire, les troncs vei-

---

(1) *Leçons d'Anatomie comparée*, première édition, tome IV, p. 406, et seconde édition, tome VI, p. 386.

(2) « Nous rappellerons encore ici ces parties centrales de l'arbre dé- « purateur qui, dans l'Aplysie, sont percées d'ouvertures très-sensibles « dans la portion qui traverse la cavité viscérale, ouvertures qui per- « mettent l'*absorption* par le tronc ou la souche de l'arbre nutritif. Cepen- « dant on peut dire que, dans ce type, *le système vasculaire sanguin est* « *complet,* que les deux arbres nutritif et dépurateur sont liés par un « réseau capillaire, et que *le fluide ne s'épanche point dans les lacunes ;* « il reste enfermé, et circule dans l'ensemble de ses réservoirs, qui *for-* « *ment encore ici un système de vaisseaux clos.* » (Duvernoy, *Additions aux Leçons d'Anatomie comparée*, par Cuvier, tome VI, p. 538. Paris, 1839.)

(3) « La physiologie des Limaces rouges offre une particularité physio-

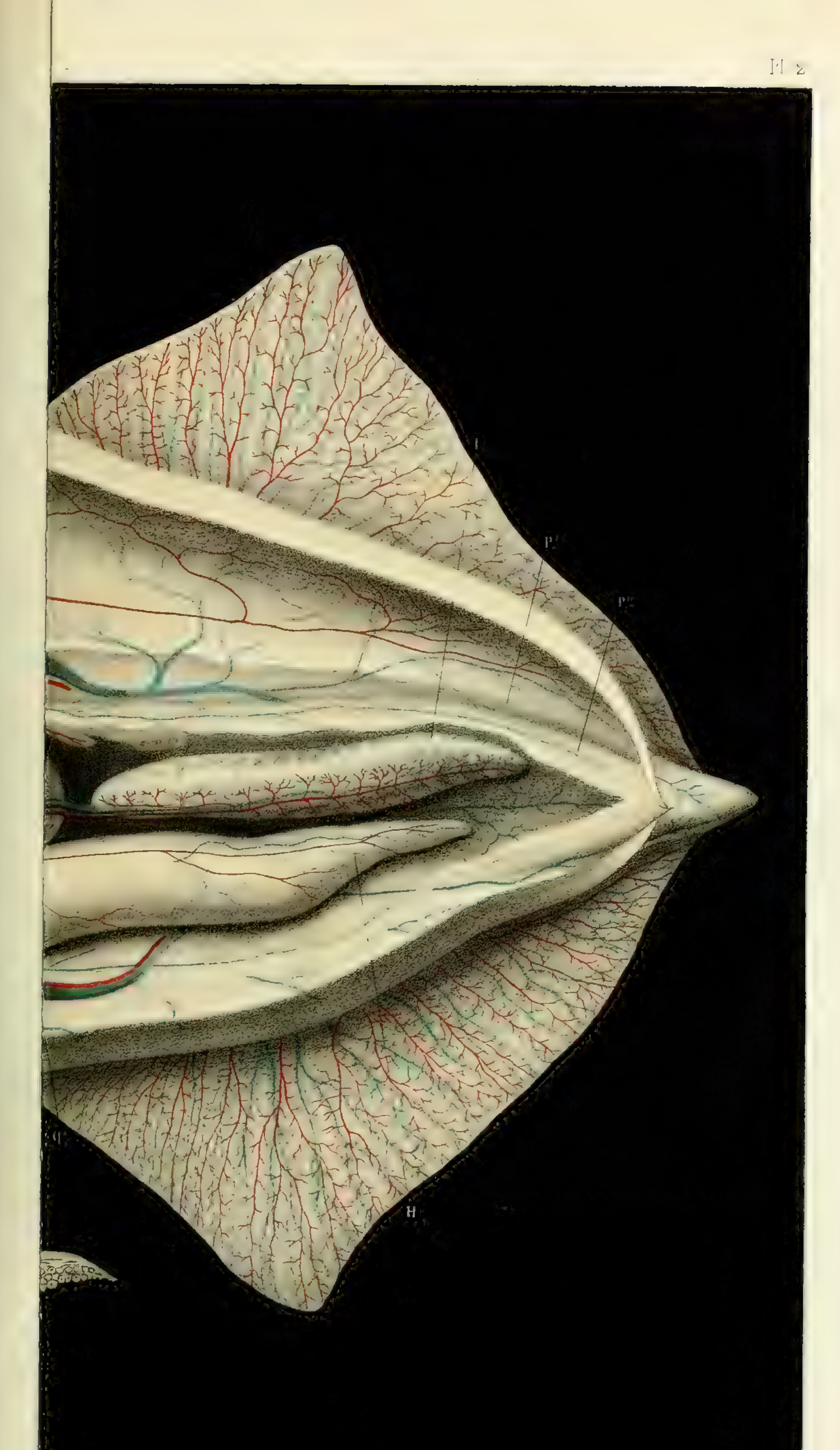
neux ou les grosses lacunes servant aux mêmes usages, qui débouchent directement dans la cavité viscérale. Ainsi, dans le Buccin ondé, animal dont le corps tout entier n'est guère plus gros qu'un œuf de poule, on voit des canaux veineux dont le diamètre est de plus de 1 millimètre se terminer brusquement par un orifice béant dès qu'ils arrivent dans cette cavité; et chez le Poulpe, l'Argonaute et les autres Mollusques les plus élevés en organisation, on voit que les communications entre la cavité péritonéale et les grandes veines caves chargées de porter le sang aux cœurs pulmonaires, sont établies au moyen de canaux dont les dimensions ont souvent jusqu'à 1 centimètre de diamètre. Il est, du reste, toujours facile de se convaincre que le passage du sang de la cavité viscérale dans le système vasculaire n'est pas un phénomène de filtration analogue à l'absorption par imbibition chez les animaux vertébrés, car ce ne sont pas seulement les fluides qui pénètrent ainsi dans les vaisseaux; le suif tenant en suspension des poudres grossières passe avec la même facilité, et dans plusieurs expériences c'est avec du plâtre gâché que ces injections ont été faites.

Ainsi tout concourt à montrer l'existence d'une circulation semi-vasculaire, semi-lacunaire, chez les Mollusques aussi

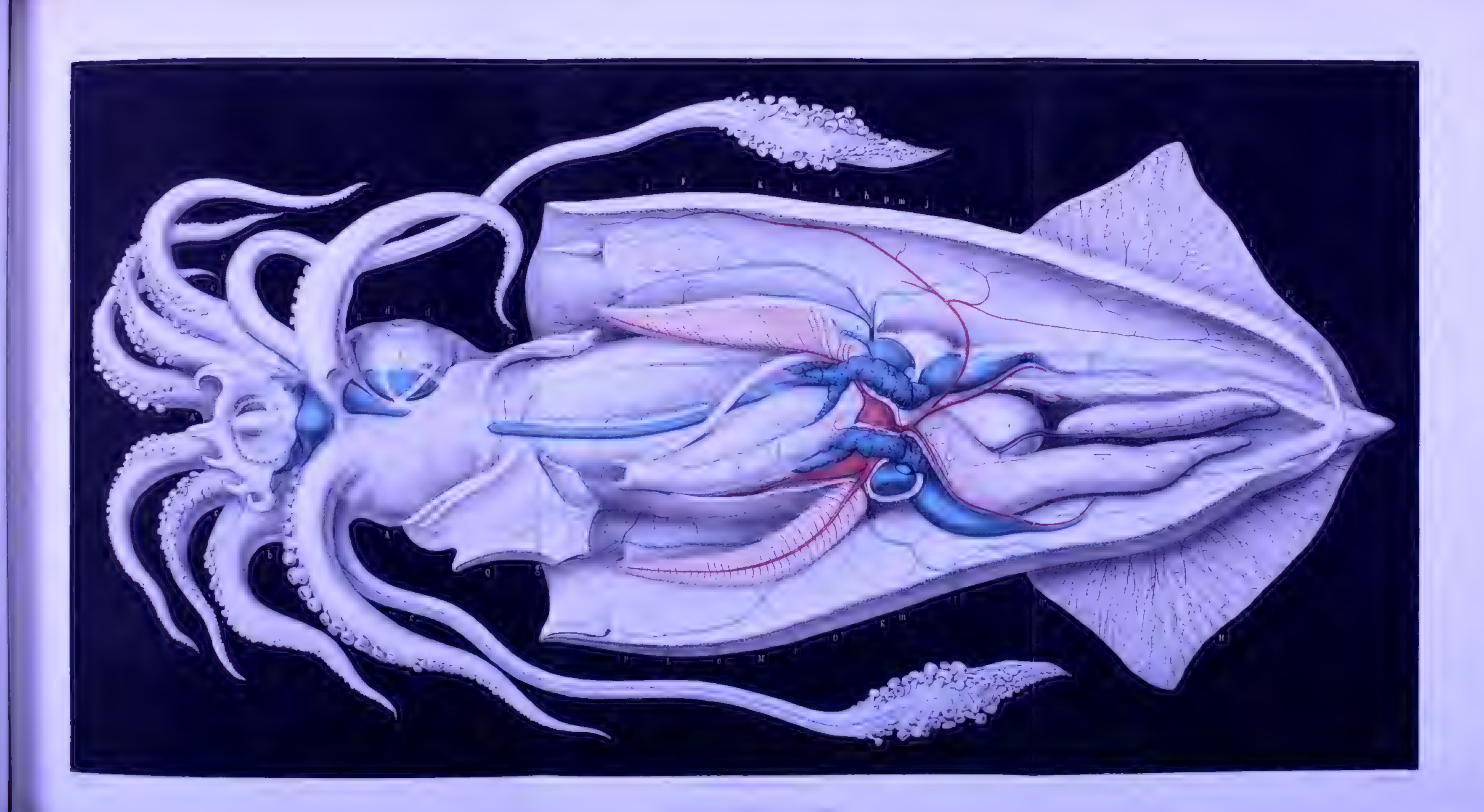
---

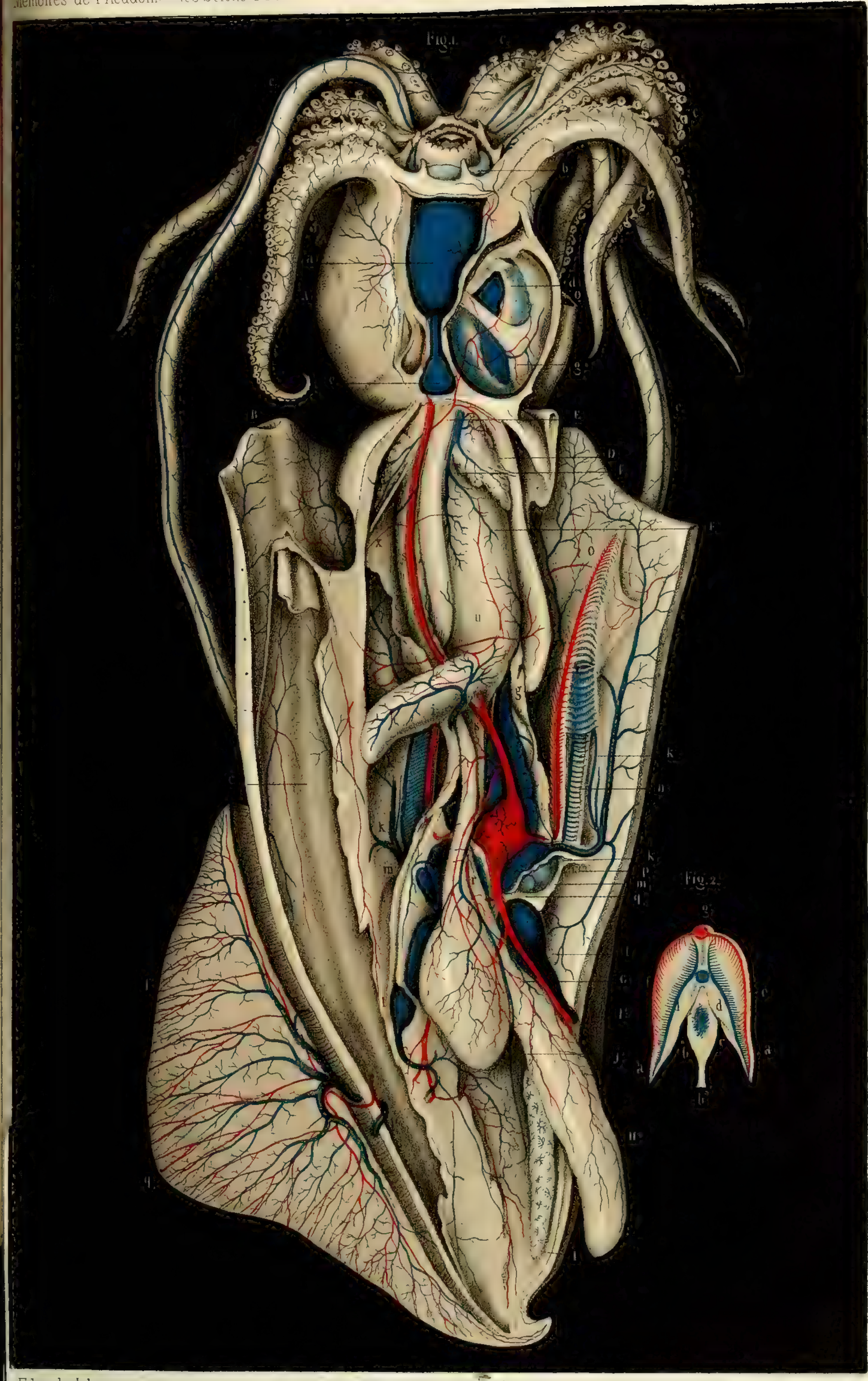
« logique extrêmement curieuse, et que je ne sache pas que l'on ait en« core signalée. Le sang, après avoir franchi les capillaires qui terminent « les artères, est, au moins en grande partie, perspiré par eux, et s'épan« che dans la cavité viscérale; puis ensuite ce fluide se trouve *absorbé par « les extrémités des veines*, et il rentre de nouveau dans le système vas« culaire. » (POUCHET, *Recherches sur les Mollusques*, page 13. Rouen, 1842.)

bien que chez les Crustacés et les Arachnides, et si l'on voulait exprimer, par une formule générale, tous les faits de cet ordre déjà constatés, on pourrait dire que, chez tous les animaux à sang blanc, les liquides nourriciers ne sont pas renfermés dans un appareil vasculaire clos, mais circulent plus ou moins rapidement dans un système de cavités constitué en totalité ou en partie par les lacunes que les divers organes laissent entre eux.


H

s.
si l'on vou-
faits de cet
ous les ani-
sont pas
s circulent
vités cons-
les divers

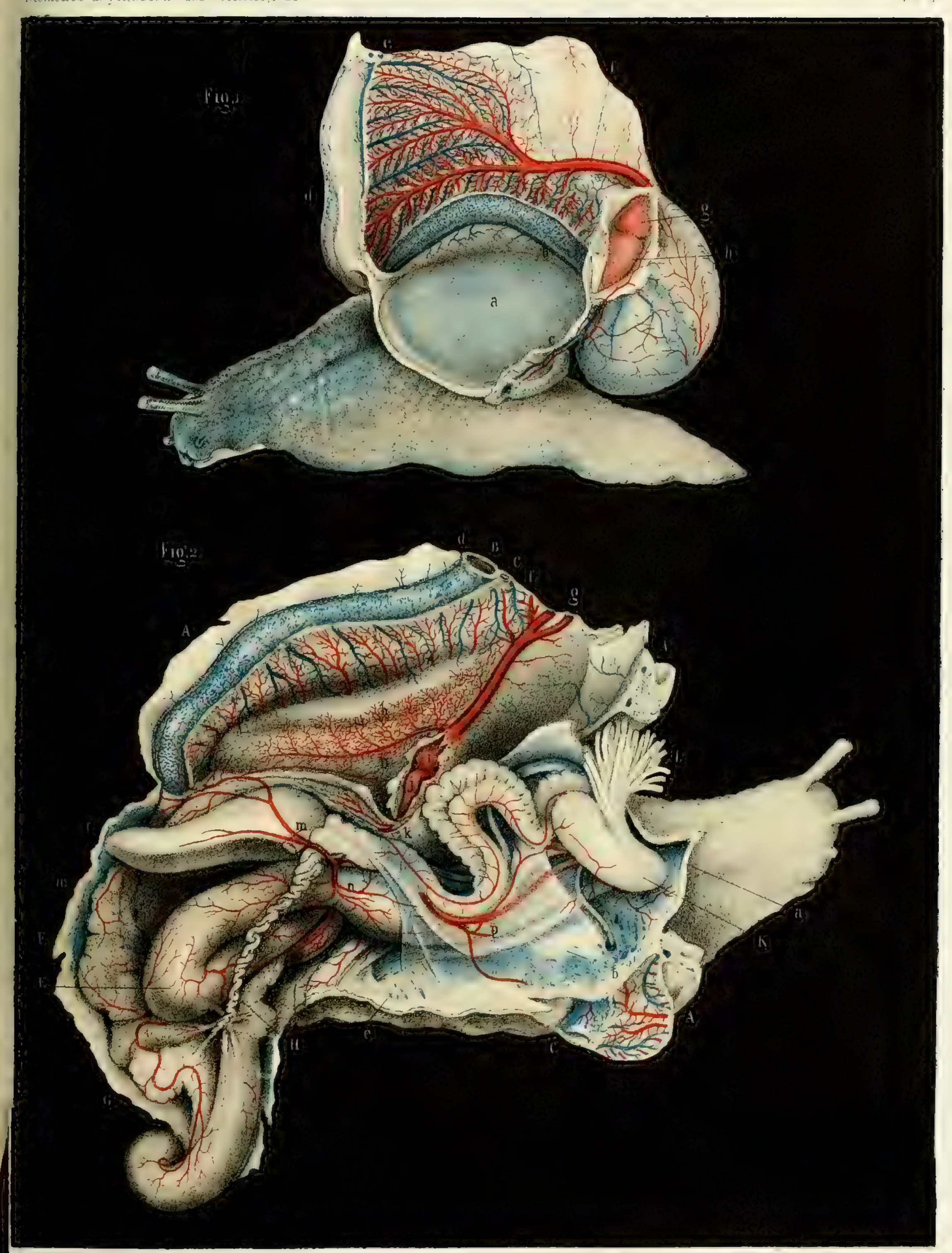




Edwards del. Imp. en couleurs par Lemercier à Paris Emile Beaulit.

APPAREIL CIRCULATOIRE ...

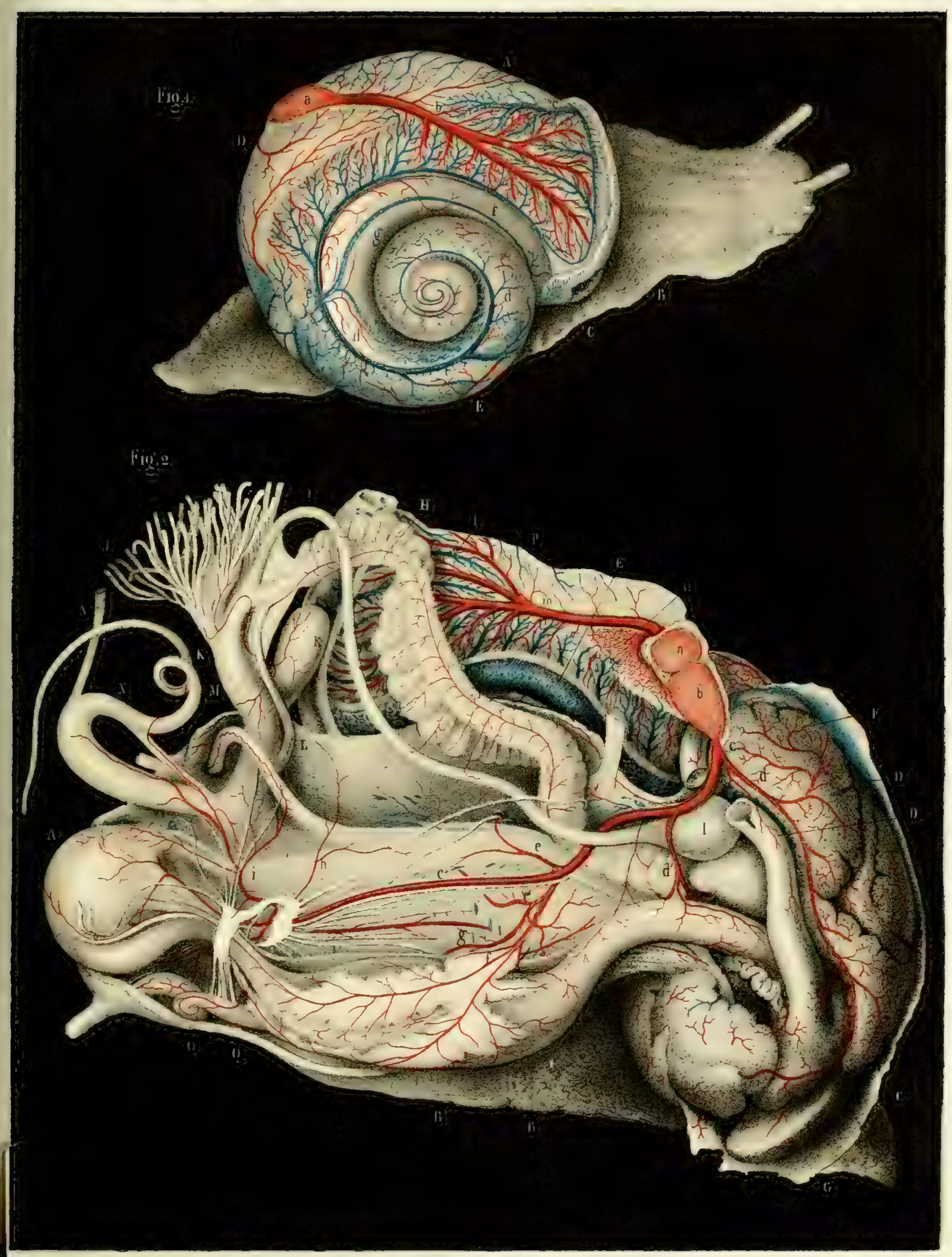




Edwards del. Imp. en couleurs par Lemercier, Paris

APPAREIL CIRCULATOIRE DU COLIMAÇON

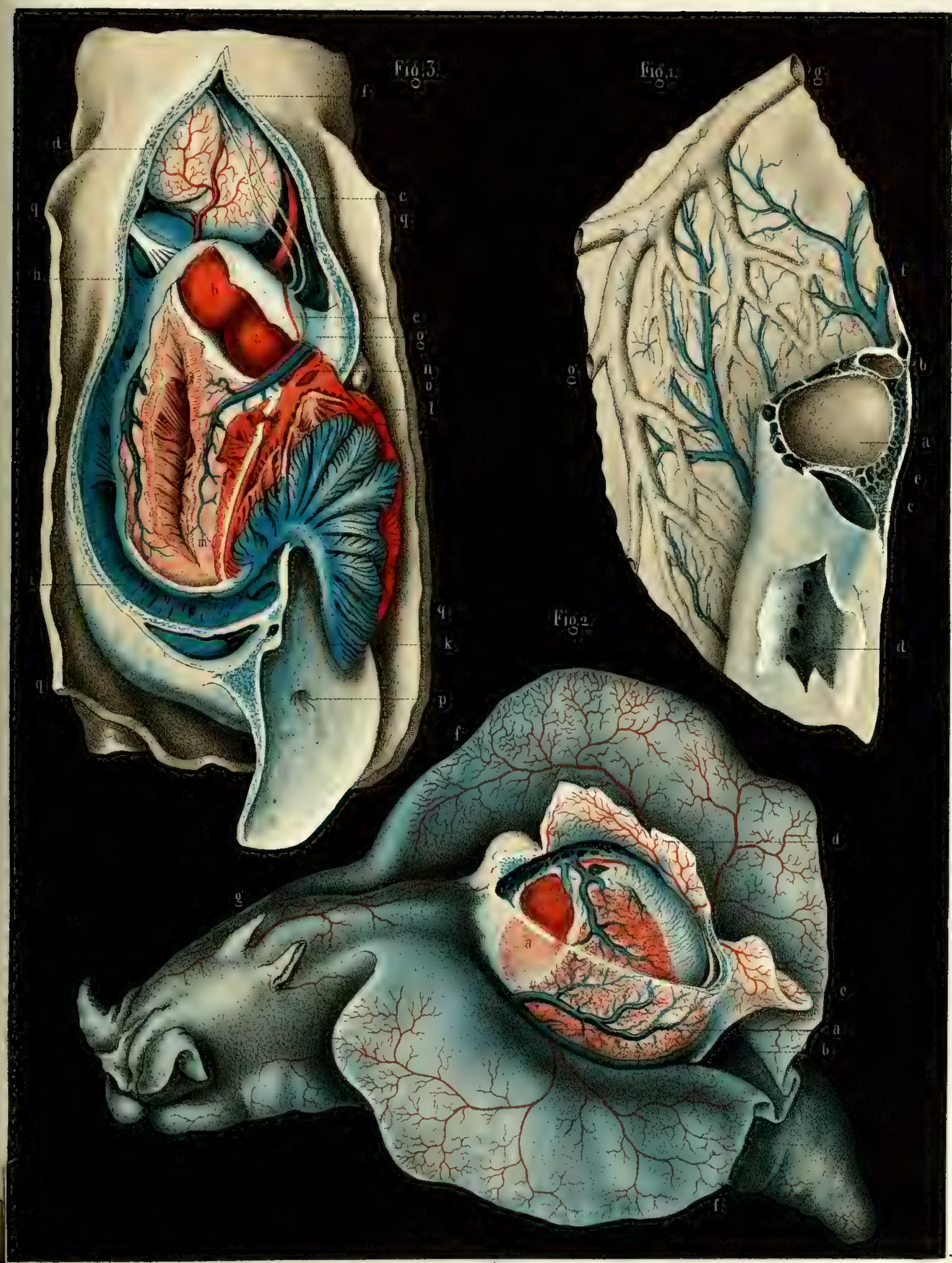




Edwards del.

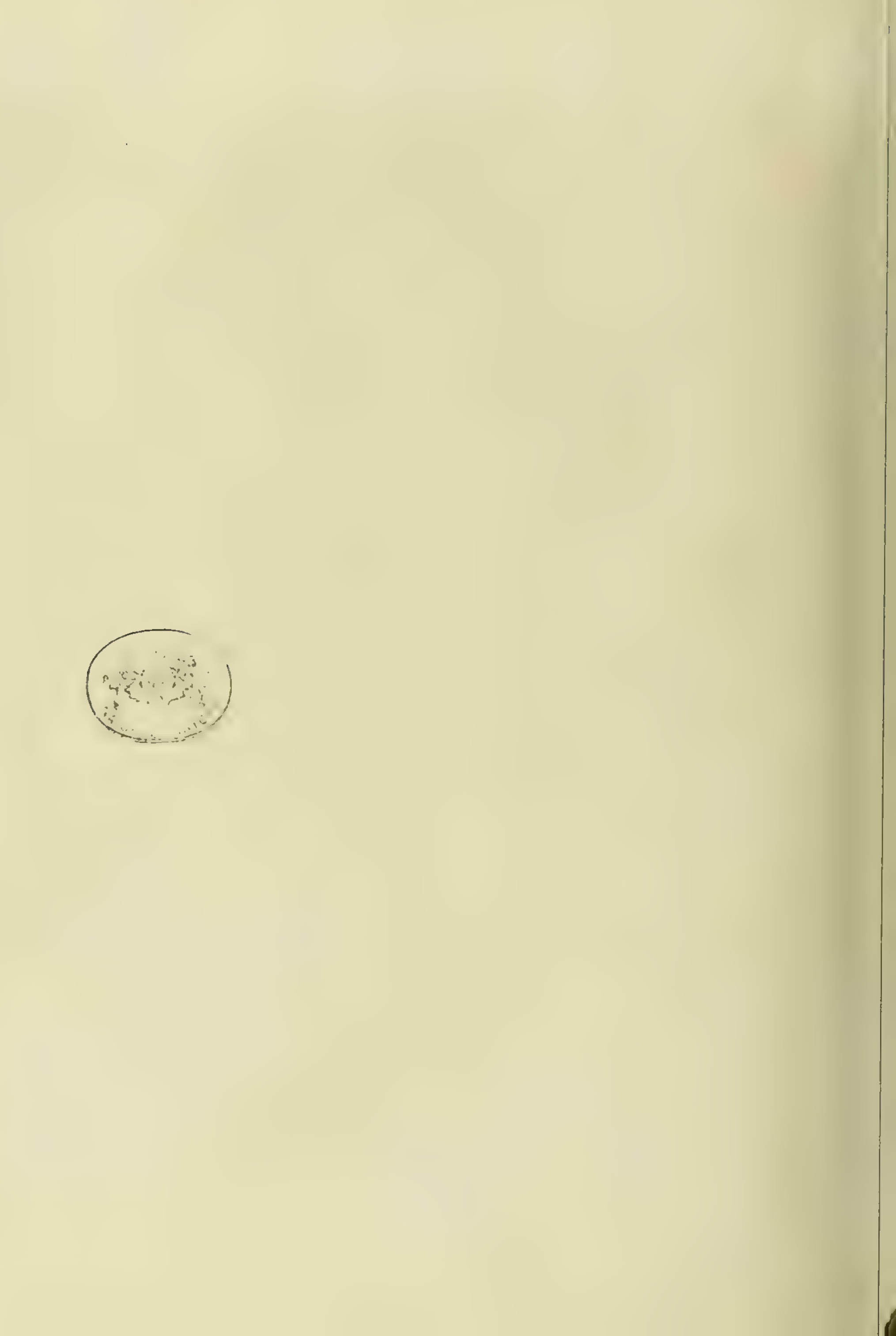
APPAREIL CIRCULATOIRE DU COLIMAÇON.

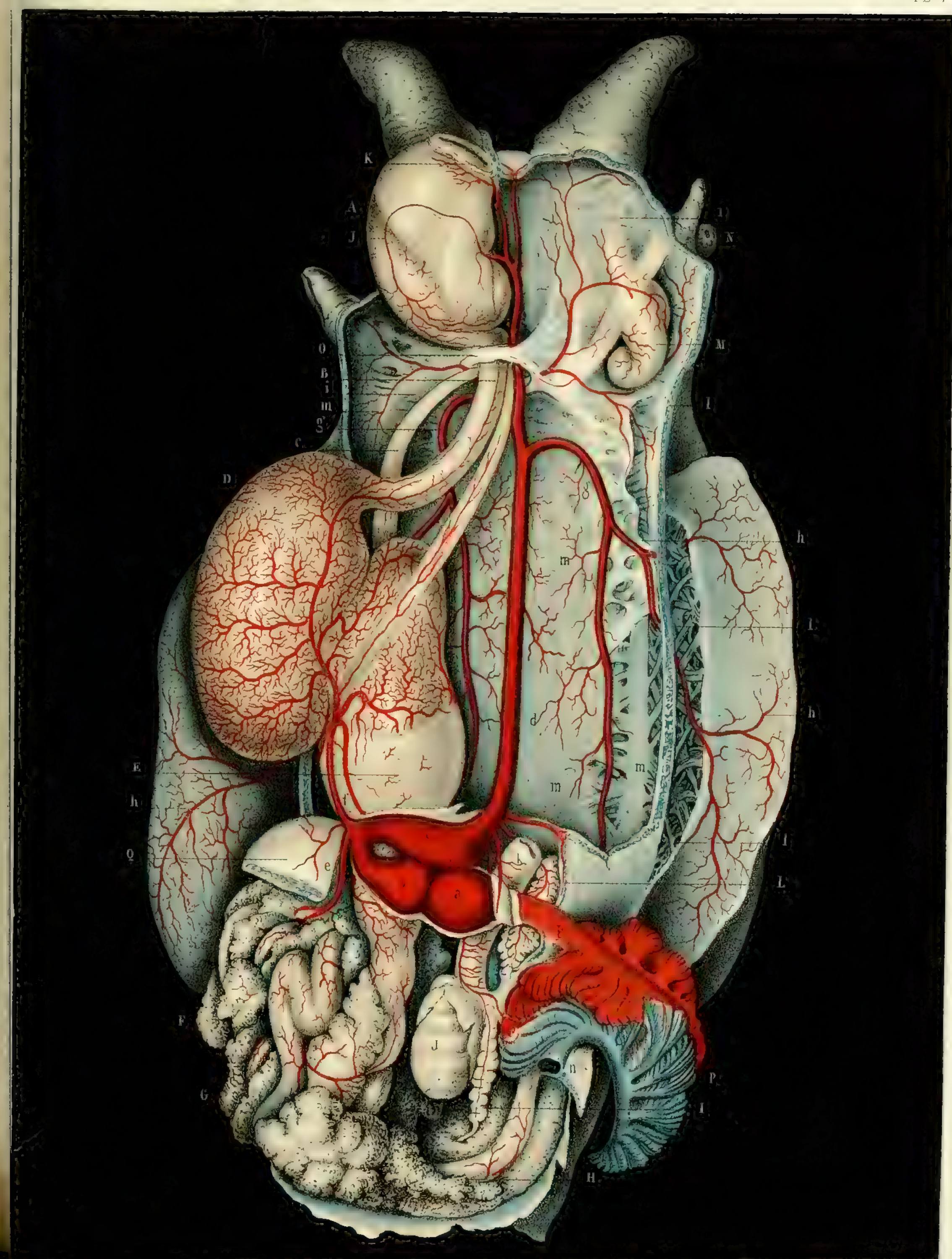




Edwards del. Imp. en couleurs par Lemercier à Paris. Emil. Peau lith.

FIG. 2 ET 3. APPAREIL CIRCULATOIRE DE L'APLYSIE





Edwards del Imp. en couleurs par Lemercier à Paris Émile Beau ...

APPAREIL CIRCULATOIRE DE L'APLYSIE



ORGANOGRAPHIE
ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE,

MÉMOIRE SUR LA COMPOSITION ET LA STRUCTURE DE PLUSIEURS ORGANISMES DES PLANTES (1),

Par MM. DE MIRBEL et PAYEN.

Lu dans la séance du 3 février 1845.

La première partie de notre mémoire traite de la composition élémentaire des végétaux, et démontre, par des analyses chimiques, que plus les organismes des plantes sont jeunes et aptes à se développer, plus est considérable la

(1) Le mémoire que nous présentons à l'Académie est rédigé depuis plus de trois ans; mais les gravures des dessins faits à l'aide du microscope n'ont été terminées que dans ces derniers temps, et ils sont indispensables pour la plus grande intelligence du texte. C'est ce qui explique le long retard de la publication de ce travail. Un extrait a paru en 1845 dans les comptes rendus.

quantité de substances azotées qui pénètrent dans leurs cellules et les vivifient.

La seconde partie fera connaître la structure interne des feuilles bisannuelles, et donnera de curieux renseignements touchant l'épiderme, les glandes oléifères, la formation et la structure particulière de quelques organes microscopiques.

En étudiant, dans ce premier mémoire, les modifications des organismes soumis à notre examen, on acquerra bientôt la preuve qu'il existe en effet des relations entre les agents doués d'une certaine composition chimique et les diverses phases des développements. Toutefois, il importait de savoir si la loi était générale ou si elle admettait des exceptions. Pour répondre à cette question, il fallait multiplier les coupes des divers organes, de telle sorte qu'il n'existât, pour ainsi dire, point d'intervalle entre eux ; et tels ont été les résultats obtenus, que l'on a dû conclure que s'il y avait des exceptions elles devaient être bien rares. Mais là ne s'est point borné notre travail : il nous importait, en outre, de déterminer, à l'aide des moyens dont la chimie dispose, la quantité de substances azotées, si faibles ou si fortes qu'elles fussent, dans les parties des plantes où de nouveaux tissus apparaissent. On conçoit que, pour atteindre ce but, un appareil spécial était indispensable. Quelques dispositions nouvelles et des précautions particulières eurent pour résultat de rendre les analyses plus faciles et surtout plus exactes. Nous allons donner ici une description aussi fidèle que possible de l'appareil dont nous avons constamment fait usage, afin que si quelques chimistes doutaient de la justesse de nos expériences, ils pussent facilement les répéter, et se convaincre

que nous n'avons rien avancé qui ne fût de la plus parfaite exactitude.

Quant à la méthode elle-même, fondée par MM. Thénard et Gay-Lussac, perfectionnée par M. Gay-Lussac, puis par M. Dumas, elle repose sur la combustion de la matière organique au moyen du bi-oxyde de cuivre, et sur l'emploi de l'acide carbonique pour éliminer l'air.

La planche Ire, fig. 1, 2, 3 et 4, montre l'ensemble et les principaux détails de l'appareil : des lettres semblables indiquent les mêmes objets dans ces quatre figures.

Le fourneau AB se compose d'une sorte de caisse en tôle munie d'un faux fond percé de trous allongés; ce diaphragme horizontal sépare du foyer le cendrier ouvert d'un bout, en b' seulement; on peut modérer le tirage en fermant plus ou moins cette ouverture.

Sur ce deuxième fond s'appuie parallèlement une lame en tôle; des trous sont pratiqués dans cette lame, entre les montants verticaux *d*, *d*, *d*, fixés sur elle; ces montants échancrés sont destinés à supporter le tube; l'intervalle de 10 centimètres entre eux facilite l'arrangement des charbons : il pourrait même être encore agrandi, car une légère flexion du tube pendant l'analyse est plutôt utile que défavorable pour détruire les fausses voies dans l'intérieur.

Deux lames en tôle EE (*fig.* 2), inclinées et appuyées sur les deux bords de la caisse, butent contre la lame, et forment les parois longitudinales du foyer d, d', d''; celui-ci est rétréci de cette façon, et entouré d'une couche d'air qui ralentit la déperdition de la chaleur.

Le tube, fermé d'un bout qui doit être chauffé sur ce foyer, est long de 1 mètre à 1m 15; il a 1 centimètre environ de dia-

mètre intérieur, et doit être chargé : 1° de bi-carbonate de soude *g*, *h*, en poudre grossière, tassée, qui occupe 14 centimètres de longueur ; 2° de bi-oxyde de cuivre gros et fin *h*, *i*, 12 centimètres ; 3° du mélange de la substance qu'on veut analyser, avec du bi-oxyde, en quantité suffisante pour occuper dans le tube une longueur *i*, *j*, de 12 centimètres ; 4° de bi-oxyde *j*, *k*, occupant une longueur de 15 centimètres ; 5° de raclure de cuivre métallique *k*, *l* (1), 10 centimètres ; 6° de bi-oxyde *l*, *m*, 8 centimètres (2) ; 7° de cuivre métallique, environ 15 centimètres *m*, *n*; et remplissant d'ailleurs ce qui reste de place dans le tube *n*, *n'*, 8 à 10 centimètres, jusqu'à environ 7 centimètres du bout, avec du bi-oxyde de cuivre (3). Le tube est d'ailleurs enveloppé, comme à l'ordinaire, de *h* en *n'*, avec une lame mince de laiton tournée en hélice et fixée par trois ligatures de fil de laiton ; un tube plus étroit (formant une sorte de T), *p*, *q*, *r*, s'y adapte au moyen d'un bon bouchon qu'il traverse et qui entre à frottement dans le tube chargé *g*. . .*p* ; ses branches horizontales et verticales sont

---

(1) Les raclures ont été préalablement calcinées, puis réduites à l'état métallique en les chauffant au rouge dans un courant de gaz hydrogène sec ; on les foule à plusieurs reprises avec une baguette en verre plein, afin que dans chacune des parties indiquées elles soient bien tassées.

(2) Cette couche bi-oxyde interposée dont nous avons cru devoir introduire l'emploi, décompose des traces de gaz carburé, régularise la filtration des gaz, évite les fausses voies, en sorte qu'elle empêche aussi la formation du bi-oxyde d'azote.

(3) Cette dernière couche de bi-oxyde est utile pour brûler des traces d'hydrogène provenant de parcelles de fer contenues parfois dans la tournure de cuivre : on comprend en effet que l'hydrogène, s'il n'était ainsi brûlé, serait compté comme azote et rendrait l'analyse fautive.

mises en communication avec une petite pompe aspirante V, à l'aide d'un tube coudé v, v', v'', rendu flexible par trois joints de caoutchouc, et terminé par un manchon épais en caoutchouc *s*, *t*, qui y reste attaché par la ligature *t*; une deuxième ligature *s*, faite sur ce dernier, opère la communication avec la pompe; la branche verticale du tube *q r*, longue de 76 centimètres, est engagée dans la rainure de la cuve à mercure par son extrémité inférieure recourbée.

Une disposition spéciale, substituée aux anciens procédés de réunion avec la pompe (qu'on interposait entre le tube chargé et la branche verticale), rend les opérations plus sûres et le montage plus facile : elle consiste à placer dans le manchon épais et assez large, en caoutchouc, un bout de cylindre plein en verre, long de 3 centimètres, et aux extrémités duquel on a fait une ou deux brèches. Ce cylindre n'empêche pas l'air et le gaz acide carbonique de passer lorsque la pompe aspire; mais dès qu'on veut intercepter la communication, il suffit de faire une ligature qui presse le manchon sur le cylindre plein.

Les figures 3 et 4 montrent les détails de cet ajustement par deux coupes amplifiées : dans la figure 3, le cylindre est vu libre, les gaz peuvent passer entre lui et le manchon; la figure 4 indique l'interruption du passage opérée à l'aide d'une ligature *o* qui serre le caoutchouc contre le cylindre plein au milieu de sa longueur (1).

---

(1) On a depuis remplacé ce manchon par un robinet fixé au T, à l'aide d'une ligature sur un bout de tube en caoutchouc; on remplace aussi le tube en verre coudé à trois joints de caoutchouc, par un tube en caout-

Une précaution tout aussi importante que celles qui précèdent, consiste à réduire en poudre très-fine la substance qu'on veut analyser, soit afin de pouvoir, avant de la peser, éliminer dans le vide toute l'eau hygroscopique, soit afin que dans le tube à combustion toutes ses parties se trouvent assez entourées de bi-oxyde pour être complétement brûlées : il est d'ailleurs convenable d'employer du bi-oxyde assez fortement chauffé et mêlé d'oxyde grossier, pour que ce mélange soit traversé sans peine par les gaz.

Lorsqu'on s'est procuré les appareils et agents que nous venons de décrire, voici comment on opère : Le tube *g*. . .*p*, fermé d'un bout, est tenu verticalement; après l'avoir *rincé* à plusieurs reprises avec de l'oxyde chaud, on y verse le bi-carbonate en poudre grossière; on ajoute la première couche d'oxyde, puis le mélange d'oxyde et de la substance organique ; on introduit, à plusieurs reprises, la deuxième couche d'oxyde pour rincer le mortier et les traces du passage du mélange dans le tube; on verse alors la première quantité de cuivre pur, réduit, et on le tasse avec une baguette en verre plein; on interpose la couche d'oxyde, puis on remplit en trois ou quatre fois le tube, jusqu'à 7 centimètres du bout, avec la dernière portion de cuivre métallique, tassé après chaque addition, et avec la dernière quantité de bi-oxyde de cuivre.

Le tube est alors complétement chargé; on l'entoure avec

---

chouc maintenu par un fil de cuivre intérieur en hélice et garni extérieurement d'un tissu en soie. Ce tube, très-flexible, est plus facile à poser et permet de varier les distances entre le fourneau et la pompe.

la bande de laiton qui s'y applique de *h* en *n'*, contournée en hélice et bien serrée. Cette enveloppe est maintenue par les trois ligatures en fil de laiton aux points *i, k, n*.

On adapte, avec son bouchon, le tube étroit *p, q, r*, et l'on place horizontalement sur le fourneau le tube *g*, *p* chargé ; la portion *gh* sortant du fourneau est soutenue par une petite grille à supports A, A'. La communication est alors établie, par la ligature *s*, avec la pompe V; on fait mouvoir la tige *t*; l'air est aspiré ; en sorte que la pression extérieure fait monter le mercure de la cuve M dans le tube vertical jusqu'à une hauteur de 60 à 70 centimètres ; on ferme le robinet *x*, et l'on s'assure que la colonne de mercure, après quelques oscillations, se maintient ; ce qui prouve que ni le bouchon, ni les ligatures, ne laissent de fuite possible. Les écrans *h*, *h'* et *n*, *n'*, étant alors mis en place, on rapproche du bout fermé *g*, entre *g*, *h*, quelques charbons incandescents ; l'acide carbonique dégagé du bi-carbonate chasse devant lui l'air dilaté et sort par l'extrémité du tube recourbé dans le mercure.

On réitère le vide à trois reprises ; on laisse dégager des bulles d'acide carbonique pendant 15 à 20 minutes ; et après s'être assuré que cet acide gazéiforme est entièrement absorbé par de la potasse en solution contenue dans une éprouvette, on pratique au milieu du manchon *s*, *t*, une ligature serrée (ou bien on ferme le robinet qui aurait remplacé le manchon), puis on pose, sur l'orifice du tube recourbé, une cloche *c*, remplie de mercure au-dessus duquel on fait passer un décilitre environ de solution de potasse caustique à 12° ou 15°. Le tube à combustion est alors chauffé au rouge cerise très-graduellement, de *n'* en *h*, au moyen de charbons

incandescents que l'on ajoute successivement, de façon que la substance mêlée à l'oxyde de *i* en *j* se brûle, et que ses gaz et vapeurs traversant l'oxyde chauffé au rouge ne puissent manquer d'oxygène pour achever leur combustion. Les composés oxygénés se dépouillent de tout leur oxygène en traversant la raclure de cuivre métallique. On chauffe ensuite peu à peu, à l'aide de quelques charbons, la portion du tube *h*, *g*, contenant le bi-carbonate, dont à peu près la moitié, après le premier dégagement, était restée intacte : il se fait un nouveau dégagement de gaz acide carbonique qui balaye les gaz et vapeurs interposés dans tous les interstices, et les fait arriver avec lui dans la cloche.

En définitive, tout le carbone de la substance passant à l'état d'acide carbonique, que la potasse en *c'*, *c*, absorbe; tout l'hydrogène brûlé formant de la vapeur d'eau qui se condense dans la même cloche, l'azote seul s'y maintient gazeux, malgré l'agitation qu'on fait éprouver à la solution de potasse.

Il ne reste plus qu'à mesurer, en le faisant passer sous l'eau, dans une cloche graduée, le gaz azote obtenu; puis, de son volume observé, retranchant ce qui est dû à la dilatation par la température et la vapeur d'eau, tenant compte de la pression barométrique, on en déduit aisément le volume qu'aurait le gaz à la glace fondante, et par conséquent son poids, puisque à cette température 1 litre, sous la pression de 760 millimètres de mercure, pèse 1259 milligrammes. Enfin, le poids de l'azote, rapporté au poids très-exactement pris de la substance analysée, permet d'en déduire, par une simple proportion, le nombre équivalent d'azote en centièmes et fractions de centièmes.

Voici les principaux objets que nous avons choisis pour les soumettre à ce mode d'analyse élémentaire qui permet de déterminer les proportions pondérales d'azote :

1° *Jeunes racines*, sur les différentes parties desquelles nous avons constaté l'influence de l'âge, relativement surtout aux proportions des substances azotées ou quaternaires. Nous avons comparé sous ces rapports les produits de cultures différentes dans des sols arides ou fortement fumés.

2° Tige d'un Chêne en pleine végétation, planté depuis vingt-cinq ans, par conséquent assez âgé pour offrir sur une seule section, perpendiculaire à l'axe, un certain nombre de couches concentriques d'âges différents, dans le bois de cœur, l'aubier et les couches corticales.

3° Branches plus ou moins développées, que nous avons également étudiées, soit par zones concentriques, soit suivant des pousses successives, qui offraient des développements à plusieurs degrés.

4° Épidermes pris à des âges différents, et en distinguant la composition de la cuticule de celle des couches épidermiques sous-jacentes.

5° Feuilles cueillies à certains intervalles de la végétation, ou séparées en plusieurs parties, afin de reconnaître encore les influences de l'âge sur la composition élémentaire.

6° Organes de la fructification.

7° Organismes fractionnés suivant la même méthode, et pris parmi les végétaux cryptogames.

Nous avons réuni dans un tableau synoptique les nombres des analyses, et les résultats indiquant les proportions d'eau, de substances minérales et d'azote dans la matière, soit à l'état normal, soit desséchée, et dans la matière orga-

nique ; enfin, la proportion de substance azotée, comparativement avec le poids total de la matière organisée. En consultant ce tableau, on verra que partout la même conclusion s'est reproduite ; que même des différences notables de composition élémentaire, et toujours dans le même sens, se sont manifestées entre des pousses successives semblables, quoique le développement des unes n'eût précédé que de vingt à trente jours le développement des autres.

Renvoyant à ce tableau pour tous les détails analytiques et quelques observations particulières, nous croyons devoir nous borner ici à présenter quelques remarques sur les relations qu'on en peut déduire entre le degré d'avancement de la structure de chacun des organismes et la composition chimique, au point de vue indiqué (1).

RACINES DE MARRONNIERS.

Nous avons opéré sur des plants de marronniers d'un an, et nous avons pris les racines dans toute leur longueur. La portion périphérique de ces racines, atteinte d'une désagré-

---

(1) Nous avons conclu, du poids de l'azote, la quantité de substance azotée équivalente, en admettant 16 centièmes d'azote dans la composition moyenne des principes immédiats quaternaires. Nous aurions voulu tenir compte, dans nos résultats, de quelques principes immédiats azotés, étrangers à l'organisation même, et spéciaux à certaines parties des plantes ; mais, outre que leur influence est très-légère, dans les organes récemment développés, elle eût été réellement nulle dans les plus jeunes organismes ; or, ce sont précisément ceux qui ont toujours offert les plus fortes proportions des substances quaternaires ou azotées.

gation notable, fut séparée, pesée humide, séchée et analysée; elle donna pour 100 de matière organisée 4,083 d'azote, représentant 25,51 de substance quaternaire. La portion sous-jacente, traitée de même, donna 5,791 d'azote, équivalant à 36,19 de substance azotée.

La partie ligneuse, dépouillée de deux couches corticales, traitée dans les mêmes conditions, donna 3,856 d'azote, représentant 24,1 de substance azotée.

En comparant les résultats des analyses, on voit que la partie vivante de l'écorce, la plus jeune, et dans laquelle réside évidemment la plus grande énergie vitale, contient beaucoup plus de substance azotée que les deux autres.

Si l'on compare entre elles les deux parties saines, on remarque, en outre, que les matières minérales sont plus abondantes aussi dans l'écorce vivante. C'est un fait général dont on se rend facilement compte en se rappelant que la cellulose, qui épaissit les tissus et les substances ligneuses qui les incrustent, n'admettent qu'en très-faibles proportions, à l'état d'interposition, mais non dans leur constitution intime, les matières minérales, ni les corps azotés; qu'ainsi ces deux dernières substances, relativement, diminuent à mesure que les cellules, les fibres ligneuses et les vaisseaux s'épaississent, que les tissus végétaux, par conséquent, se consolident.

Nous avons observé des relations analogues entre les parties composantes semblables des racines des marronniers d'un an, pris dans les cultures du bois de Boulogne; on comprend que les proportions d'eau et de matières azotées aient été moindres dans chacune de leurs parties, le sol

étant plus sableux, plus aride et moins fumé dans ce lieu qu'au Jardin des Plantes.

CHÊNE.

Nous avons pu nous procurer un tronc d'arbre convenable pour nos recherches, en choisissant un chêne d'une belle venue, et ayant vingt-cinq ans de plantation, parmi ceux que l'on commençait à abattre au bois de Boulogne, pour tracer les lignes des fortifications de Paris; l'administration supérieure et le garde général nous ayant d'ailleurs laissé toute latitude à cet égard.

Parmi les huit analyses des différentes parties d'une même section, à 1 mètre au-dessus du collet de la racine, deux résultats auraient pu faire croire à une anomalie, s'ils n'eussent été dus, l'un à l'intervention de la moelle durcie, l'autre à l'élimination d'une partie du tanin des écorces désagrégées et soumises à l'action des eaux pluviales (Voy. les notes du tableau synoptique).

On remarquera d'ailleurs la concordance qui existe entre la composition trouvée et la vitalité ou l'âge relatif des parties analysées. Ainsi l'on trouve, en réduisant les données analytiques aux proportions des *substances azotées* que :

100	(matière organique pure)	de l'écorce bien vivante en contiennent...	10,79
100	(*idem*)	de la couche d'aubier d'un an...........	10,30
100	(*idem*)	du cœur entre l'aubier et l'axe de l'arbre...	9,40
100	(*idem*)	du cœur, 2e et 3e couche près de l'axe....	6,75

Afin de reconnaître si l'épaississement et l'incrustation des tissus moins vivants étaient réellement cause de la diminu-

tion des substances azotées, nous avons enlevé, par un simple lavage à l'eau, une portion des matières contenues dans ces organismes, mais non agrégées. Le liquide fut évaporé et desséché. D'une autre part, le tissu, lavé ainsi, fut mieux épuisé à l'aide d'une eau ammoniacale, puis desséché; il représentait alors la partie solidifiée résistante dans la structure du bois.

Voici les résultats de l'analyse de ces deux échantillons :

100 (matière organique pure) du fluide desséché offrirent.	28,25	de substance azotée.
100 *id.* de la partie solide du tissu en renfermaient seulement. . . .	1,98	*id.*

Ainsi, la substance contenant le mélange fluide ou peu agrégé, appelé cambium, dans lequel, suivant nous, résident les substances organisatrices, présenta ici quatorze fois plus de matières azotées ou quaternaires, que la partie solide du tissu, portion qui nous semble en effet sécrétée et non sécrétante.

SUREAU.

Les branches de sureau employées ont été prises dans le jardin de l'un de nous, à Grenelle; le terrain y était moins fumé que celui du Jardin des Plantes, mais plus fertile que le sol du bois de Boulogne.

Sur l'étendue des trois entre-nœuds d'une jeune pousse de l'année où le bois commençait à se former, nous avons soumis à des analyses comparées trois couches concentriques représentant

1° L'écorce verte qui donna pour 100 de sa matière organique. .	4,756 d'azote	= 29,72	de sub. azot.
2° La moelle verdâtre, gorgée de suc; elle donna p. 100 de m. org.	4,601 *id.*	= 28,75	*id.*
3° Le bois récemment formé qui, pour 100 de m. org., donna	1,197 *id.*	= 7,47	*id.*

Nous traitâmes comparativement encore le bois d'un entrenœuds au-dessous de la même branche, et plus âgé seulement de quelques jours; il produisit, pour 100 de matière organique : 1,157 d'azote, représentant 7,23 de substance azotée.

Ici se manifestent toujours les mêmes relations : l'écorce verte, siége d'une active vitalité, est aussi la plus riche en substances azotées; vient en deuxième lieu la moelle à cellules très-minces, et remplies du fluide organisateur et alimentaire destiné à passer dans d'autres tissus pour continuer ses fonctions; puis, au troisième rang, la portion ligneuse qui déjà contient des fibres épaissies incrustées, et par conséquent moins de substance molle ou fluide; aussi offrit-elle une proportion quatre fois moindre de substance azotée. Enfin, l'analyse du bois âgé de quelques jours de plus montre que son incrustation est déjà sensiblement plus avancée.

On sait que les sucs diminuent dans la moelle à mesure que la végétation s'avance, et que leurs principes sont dirigés vers les parties qui se développent; il nous importait donc de voir si le tissu, lorsque sa vitalité s'est graduellement affaiblie, retient moins de substance quaternaire (azotée).

Nous avons analysé, pour vérifier cette hypothèse, la moelle extraite d'une branche de deux ans.

Elle laissa dégager pour 100 de matière organique	1,155	d'azote	= 7,21	de substance azotée.
Une autre moelle d'une branche de 10 ans, donna	0,357	*id.*	= 2,23	*id.*

Si l'on compare ces résultats entre eux et avec l'analyse de la matière extraite de la plus jeune pousse, on voit que celle-ci contient quatre fois plus de substance azotée que la

deuxième, et treize fois davantage que la troisième. Ainsi, dans ces exemples encore, les relations entre l'âge des tissus et la composition chimique se sont conservées; les parties fluides ou molles qui ont quitté le tissu où la végétation est stationnaire, pour se porter là où elle est active, sont encore accompagnées de substances azotées en forte proportion.

ÉPIDERMES.

Plusieurs particularités relatives à la composition chimique et aux propriétés des couches externes et de la cuticule épidermique des végétaux, ont été décrites dans ces derniers temps. En reprenant ce travail, nous nous sommes proposé d'examiner, au point de vue de nos recherches actuelles, la composition de certains épidermes formés de cellules minces que l'iode, en les colorant d'une teinte jaune orangée intense, indiquait être injectées de matière azotée comme la cuticule; de comparer les résultats analytiques relatifs à ces deux organismes, soit entre eux, soit avec la composition des couches épidermiques épaisses séparées de leur cuticule; de vérifier l'influence de l'âge sur les parties internes et externes réunies de l'épiderme des Cactus; enfin, de comparer ces divers résultats avec ceux de l'analyse des couches corticales vertes, jeunes et à cellules très-minces, renfermant des granulations de substances molles colorables en jaune par l'iode, et constituant le parenchyme sous l'épiderme du *Cereus Peruvianus*.

Le tableau synoptique contenant les détails de ces analyses, montre que l'épiderme des tubercules de la Pomme de terre (formé de plusieurs couches de cellules minces injec-

tées) se rapproche, par sa composition chimique, de la cuticule mince, injectée, des Cactus; dans tous les deux la proportion de substance azotée s'élève de 15,2 à 17,2 pour 100.

Quant aux couches épidermiques sous-jacentes des Cactus, elles sont formées de cellules à parois très-épaissies et non injectées; aussi leur composition est-elle très-différente; elle ne présenta pour 100 de matière organique que 1,46 à 1,95 de substance azotée, c'est-à-dire, de sept à huit fois moins que la cuticule des mêmes épidermes.

Cette particularité de la composition de la cuticule épidermique nous conduisit bientôt à des observations organographiques curieuses sur son mode d'accroissement, que nous exposerons plus loin.

La comparaison que nous avons établie entre des épidermes entiers enlevés à des pousses du Cereus Peruvianus d'âges différents, donna des résultats non moins remarquables :

L'épiderme pris sur une pousse de deux ans contenait, pour 100 parties, 5,66 de substance azotée; l'épiderme enlevé sur une pousse d'une année en renfermait 12,86, c'est-à-dire, au delà de deux fois plus.

Ici encore l'influence de l'âge se montra dans le même sens.

Enfin l'analyse de la partie corticale verte d'un Cereus Peruvianus âgé de deux ans et dépouillé de son épiderme a présenté, pour 100 de matière organique sèche et pure, 36,5 de substance azotée, résultat en harmonie avec l'énergie vitale de ces parties, la faible épaisseur des cellules et l'abondance des granules verts, riches en substances quaternaires que ces cellules renferment.

FEUILLES.

Le tableau synoptique contient les détails de huit analyses faites sur les feuilles de différents Mûriers.

On y pourra remarquer que la composition des trois dernières feuilles formées au bout des branches du Mûrier Moretti a présenté, pour 100 de matière organique,

	6,861 d'azote	= 42,88	de sub. azot.
En prenant 8 feuilles au lieu de 3, on obtient pour 100	6,630 *id.*	= 41,43	*id.*

C'est-à-dire 1 ½ de moins en substance azotée dans cette dernière analyse, qui portait sur des feuilles du même arbre, mais dont 5 sur 8 étaient un peu plus âgées.

Les huit dernières feuilles des rameaux prises sur un Mûrier blanc, à Grenelle, et analysées comparativement le 15 juin et le 10 octobre, ayant en somme la même durée de développement, ont présenté sensiblement la même composition : les unes contenaient effectivement, pour 100 de matière organique, 34,36 de substance azotée, et les autres 34,08.

On voit que, dans les mêmes conditions de culture et de terrain, le Mûrier Moretti est sensiblement plus riche en substance azotée que le Mûrier multicaule, et suivant le rapport de 41 à 38.

En opérant séparément, d'un côté sur les pétioles et nervures médianes, de l'autre sur le limbe des feuilles, nous pensions pouvoir apprécier des différences qui se sont en effet manifestées clairement.

Les pétioles et nervures des feuilles de multicaule donnèrent	4,792 d'azote	= 29,95	de subst. azotée.
Tandis que les limbes des mêmes feuilles produisirent. . . .	6,141 *id.*	= 38,38	*id.*

C'est-à-dire, environ un tiers en sus.

Ainsi, les tissus plus anciennement formés dont les parois sont généralement plus épaisses, qui servent surtout au passage des liquides nourriciers, contiennent moins de substance quaternaire et beaucoup plus d'eau (suivant les rapports de 87 à 78) que les tissus à cellules minces, plus récemment développés, et contenant en abondance les corps colorables en vert auxquels on attribue, depuis longtemps et avec raison, des propriétés vitales énergiques.

On trouvera les mêmes différences, plus tranchées encore, en comparant entre elles les compositions des parties analogues dans les feuilles d'un Mûrier noir.

En effet, les pétioles et nervures ont donné 84,55 d'eau; leur mat. org. cont. 17,5 de sub. azotée.
Tandis que les limbes des mêmes feuill. donn. 72,2 d'eau, leur m. org. cont. 26,68 *id.*

Comparativement avec les précédents, ces derniers contenaient donc environ 14 pour 100 de moins en eau, et leur matière organique, pure et sèche, renfermait au delà de 50 pour 100 de plus de substances quaternaires ou azotées.

Nous ne pouvions manquer de remarquer encore la différence notable qui existe entre la composition des feuilles de deux mûriers venus à Grenelle dans un même terrain; les unes offrant une structure plus résistante, un tissu à parois plus épaisses, contiennent moins de substances azotées que les autres, dans les rapports suivants :

Les feuilles du Morus alba ont donné pour 100 de mat. org. 5,498 d'az., représ. 34,36 de sub. azot.
Les feuilles du Morus nigra ne donnèrent pour 100 que. . . 4,270 *id.* 24,68 *id.*

C'est-à-dire une proportion moindre d'environ 30 centièmes.

LYCOPERDON PRATENSE.

Nous savions que divers champignons à développement rapide sont abondants en substances azotées, que le champignon de couches, par exemple, renferme pour 100 jusqu'à 61,16 de ces substances quaternaires; nous avons voulu rechercher si, dans les végétaux de cette famille, l'influence de l'âge des différentes parties se ferait encore sentir.

Dans cette vue, nous avons analysé séparément la portion interne (spores) et l'enveloppe qui composent le Lycoperdon pratense.

Ce champignon contenait 61,36 d'eau et 38,64 de matière desséchée; celle-ci se composait de 4,548 de tissu enveloppant, et 2,234 de sporules.

L'enveloppe donna pour 100 de mat. org.	3,322	d'azote représentant	20,76	de subst. azotée.
Les spores produisirent pour 100.	6,244	*id.*	38,89	*id.*

Ainsi, le tissu dont la végétation est accomplie contient près de moitié moins de substance azotée que les spores développées plus récemment, et dans lesquelles l'énergie vitale est évidemment plus grande : circonstances qui toutes deux s'accordent avec la composition chimique et la loi générale que nous nous proposions de vérifier.

Les tableaux synoptiques ci-contre offrent les détails et quelques autres résultats de ces analyses.

TABLEAUX

DES ANALYSES ÉLÉMENTAIRES EN VUE

NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE LA SUBSTANCE employée.	GAZ OBTENU.	TEMPÉRATURE.	PRESSION.	EAU.	CENDRE.
	gr.	cc.	o	m.		
Partie corticale vivante de Marronnier.........	0.683	31	19.8	0.765	68.66	9.30
Racines Marronnier, parties désagrégées........	0.746	20.50	18.1	0.764	78.25	24.30
Racines Marronnier, partie ligneuse dépouillée des couches corticales........................	1.228	40.50	18.6	0.751	67.04	2.40
Racines Marronnier, partie corticale vivante...	....	....	....	....	64.16	....
Racines Marronnier, partie corticale désagrégée.	....	....	....	....	58.66	....
Racines Marronnier, partie ligneuse...........	....	....	....	....	51.74	....
Cambium Chêne.........................	0.297	11	20.4	0.7682	....	5.20
Écorce Chêne (1), partie corticale morte........	0.525	7.50	20.5	0.757	23.21	9.40
Écorce Chêne, partie vivante................	0.475	6.25	20.	0.7652	42.99	12.20
Cœur de Chêne, 1re couche, avec sa moelle (2).	1.033	15.5	19.	0.756	38.15	0.40
Aubier Chêne, dernière couche d'un an........	0.477	6.75	20.	0.7685	41.18	0.74
Bois de Chêne, cœur entre centre et aubier.....	1.000	13	18.	0.760	36.94	0.20
Bois de Chêne, moins la moelle, moins la 1re couche, cœur des 2e et 3e couches.............	0.677	6.25	19.	0.7685	38.15	0.74
Bois de Chêne...........................	0.365	1	15.5	0.758	....	0.10
Écorce Sureau..........................	0.304	11.10	21.33	0.7625	79.68	12.33
Moelle Sureau..........................	0.412	14.50	22.	0.7612	87.88	13.20

(1) La portion désagrégée de l'écorce du Chêne contient un peu plus de matière azotée que l'écorce partie en grand excès, est mis en liberté par la désagrégation du tissu, qu'alors une portion se porte sur reste soluble, et est entraîné par les eaux pluviales : ainsi, d'une part, la conservation de la substance azotée,

(2) Le résultat de cette analyse prouverait que la moelle du chêne renferme de plus grandes proportions tion, car la dureté considérable, le peu de volume et la forte adhérence de cette partie médullaire, ne

SYNOPTIQUES

DU DOSAGE DE L'AZOTE DANS LES ORGANISMES VÉGÉTAUX.

AZOTE POUR 100 DE LA MATIÈRE à l'état normal.	à l'état sec.	à l'état pur.	OBSERVATIONS.	SUBSTANCE AZOTÉE, p. 100 de mat. organisée.
1.646	5.253	5.791	....	36.19
0.694	3.191	4.083	Marronnier d'un an, provenant du Jardin du Roi........	25.51
1.141	3.764	3.856	....	24.10
....	....	....		
....	....	....	Marronnier provenant du bois de Boulogne.	
....	....	....		
....	4.285	4.520	Extrait par des lavages à l'eau pure........	28.25
1.250	1.628	1.796	Arbre de 25 ans du bois de Boulogne........	11.22
0.864	1.516	1.726	*Idem*........	10.79
1.061	1.717	1.723	*Idem*........	10.70
0.962	1.636	1.648	*Idem*........	10.30
0.946	1.501	1.505	*Idem*........	9.40
0.659	1.073	1.081	*Idem*........	6.75
....	0.317	0.3173	Exempt de cambium. (Lavé : 1° à l'eau : perte p. 100 8.88) ; 2° à l'ammoniaque, *id.* 6.65 ; 15.53	1.98
3.322	4.170	4.756	Écorce verte des trois entre-nœuds ci-dessous........	29.72
0.484	3.994	4.601	Trois entre-nœuds de la partie d'une jeune pousse, où le bois commence à se former........	28.75

vivante; on en comprendra facilement le double motif : c'est que le tanin que contient cette dernière la substance azotée et la préserve des altérations spontanées, tandis que l'excès de tanin normal ou altéré de l'autre la disparition du tanin qui ne renferme pas d'azote, concourent à expliquer le résultat obtenu. de substance azotée que les couches ligneuses. On ne pourrait guère arriver à le démontrer que par induc- permettent pas de l'isoler exempte de fibres ligneuses.

NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE LA SUBSTANCE employée.	GAZ OBTENU.	TEMPÉRATURE.	PRESSION.	EAU.	CENDRE.
Bois de Sureau	0. 560	5. 62	22.	0. 761	56.65	5. 40
Bois de Sureau	0. 440	4.25	20.	0. 7625	56. 55	5. 40
Moelle Sureau	0. 506	5	19.	0. 7575	30. 98	2.
Moelle Sureau	0. 331	1	20.	0. 7635	39. 14	3. 20
Spores	0. 231	12.56	19. 50	0. 751	62. 33	0. 80
Enveloppe	0. 497	13.80	18.	0. 753	60. 87	4. 40
Pollen	0. 103	7. 37	17. 5	0. 7485	76. 86	4.
Ovules	0. 318	10. 25	17.	0. 764	89. 28	5. 60
Branche	....	....	....	....	70. 16	....
Branche	....	....	....	....	73. 15	....
Branche	....	....	....	....	77. 71	....
Épiderme de pommes de terre	0. 443	8. 12	21.	0. 7618	....	14.
Épiderme de Cactus Peruvianus	0. 222	5	18.	0. 760	....	5. 60
Épiderme	0. 209	3. 75	18.	0. 739	....	3. 60

AZOTE POUR 100 DE LA MATIÈRE			OBSERVATIONS.	SUBSTANCE AZOTÉE, p. 100 de mat. organisée.
à l'état normal.	à l'état sec.	à l'état pur.		
0.492	1.133	1.197	Provenant de la branche ci-dessus....................................	7.47
0.480	1.105	1.157	*Idem*, *idem*, comprenant un entre-nœud inférieur de plus........	7.23
0.769	1.132	1.155	*Blanche*, extraite d'une branche de 2 ans.........................	7.21
0.210	0.346	0.357	*Grise*, extraite d'une branche de 10 ans..........................	2.23
2.326	6.175	6.224	*Partie interne* d'une Vesse-de-loup. *Lycoperdon bovista pratense*......	38.89
1.241	3.176	3.322	*Partie externe* du même champignon.............................. Les deux parties ensemble ont perdu dans l'étuve à 60° d'abord 55,44 pour 100 d'eau. Séparées ensuite et séchées dans le vide à 100 degrés, le complément de l'eau a été calculé comme ci-dessous. Poids à l'état sec : État normal = 17.55 » sec.., = 7.82 réduit à l'étuve = composé { enveloppe. 5.175 / spores.... 2,645 } = 7.820 9.73 = 55.44 pour 100 d'eau. Séché dans le vide : La réduction = { enveloppe. = 4.548 / spores.... = 2.234 } = 6.782 17.55 : 6.782 :: 100 : 38.64 matières sèches = { 25.92 enveloppe. / 12.72 sporules. } 61.36 eau. 100.00	20.76
1.892	8.177	8.517	(*Palma-christi*) extrait de boutons clos prêts à s'ouvrir..............	53.23
0.369	3.446	3.654	(*Palma-christi*) ovules gélatiniformes, un peu avant la formation de l'amande, extraits de boutons clos..................................	22.83
....	....	....	Branche de Palma-christi, 2e entre-nœud, à 11c de distance du collet de la racine.	
....	....	....	*Idem*, *idem*, 4 premiers entre-nœuds de l'extrémité supérieure.	
....	....	....	*Idem*, *idem*, 2e entre-nœud, à 54c de l'extrémité supérieure.	
....	2.091	2.431	Patraque jaune..	15.19
....	2.597	2.751	Cuticule épidermique, tige 2 ans, mis 48 heures dans une solution aqueuse, saturée d'iode, puis 48 heures dans un mélange de 1 vol. d'acide sulfurique et de 1 vol. d'eau distillée, lavé, raclé, lavé à l'eau, saturé par le bi-carbonate de soude, lavé à l'eau et séché.....	17.19
....	2.012	2.086	Cuticule séparée de l'épiderme d'un Cactus Peruvianus de 2 ans. Substance extraite après 12 heures seulement de macération dans l'acide sulfurique à 1 vol. d'eau, plus 1 vol. d'acide sulfurique de l'opération précédente; non saturée par le bi-carbonate de soude, lavée à l'eau jusqu'à épuisement..	13.03

NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE LA SUBSTANCE employée.	GAZ OBTENU.	TEMPÉRATURE.	PRESSION.	EAU.	CENDRE.
Épiderme	0.445	7.26	19.	0.7615	....	8.80
Épiderme	0.523	3.62	19.	0.773	....	12.
Épiderme	0.655	1.12	20.	0.7497	....	18.
Épiderme	0.378	0.875	16.75	0.764	....	13.60
Cactus, partie corticale	0.461	19.07	15.50	0.763	....	16.80
Feuilles, Mûrier blanc	0.617	26	16.5	76.37	70.68	10.2
Id., Mûrier Moretti	1.180	62	19.	76.3	84.44	11.6
Id., Mûrier multicaule	0.498	22.25	17.5	76.5	77.95	15.
Id., Mûrier Moretti	644	31	18.5	76.3	77.67	15.8
Id., Mûrier multicaule	688	23.25	19.5	76.85	86.82	18.
Id., Mûrier blanc	365	15	15.5	76.3	71.34	11.4
Id., Mûrier noir	383	13.75	13.0	76.3	72.2	15.5
Id., Mûrier noir	1.671.25	37	18.	76.4	84.55	11.9

Les analyses que nous venons d'exposer ne permettent pas de douter que plus les divers tissus végétaux sont jeunes, plus ils contiennent de matière azotée, et plus leur puissance de développement est grande, quoique dans certains moments leur croissance s'arrête ou devienne très-lente. Mais à mesure que les divers organismes vieillissent, la substance azotée se retire, et elle est remplacée par de la cellulose pure ou entremêlée de substances ligneuses, qui n'admettent point

AZOTE POUR 100 DE LA MATIÈRE.			OBSERVATIONS.	SUBSTANCE AZOTÉE, p. 100 de mat. organisée.
à l'état normal.	à l'état sec.	à l'état pur.		
....	1.878	2.059	Cuticule et épiderme réunis d'un jeune Cactus Peruvianus, tige de 1 an........	12.86
....	0.808	0.906	Partie externe et interne réunies, épiderme du Cactus de 2 ans......	5.66
....	0.192	0.234	Partie interne séparée de la cuticule (comme il est indiqué, p. 519, 2[e] analyse) du même Cactus de 2 ans........	1.46
....	0.271	0.313	Partie interne séparée de la cuticule (comme il est indiqué, p. 519, 1[re] analyse), Cactus de 2 ans........	1.95
....	4.866	5.848	Partie corticale sans épiderme ni partie ligneuse du Cactus Peruvianus de 2 ans........	36.55
1.447	4.938	5.498	De Grenelle, 8 feuilles, bout du rameau, moins pétioles, et 2/3 nervures médianes........	34.36
0.943	6.066	6.861	Du Jardin des Plantes, 3 jeunes feuilles, moins les pétioles et 2/3 nervures	42.88
1.15	5.220	6.141	Du Jardin des Plantes, 8 feuilles........	38.38
1.246	5.583	6.630	*Idem*........ 8 feuilles du bout........	41.43
0.417	3.930	4.792	Nervures 2/3 de leur longueur vers et compris le gros bout et pétioles.	29.95
1.384	4.832	5.454	De Grenelle, 8 feuilles, moins pétioles et 2/3 nervures médianes......	34.08
1.001	3.605	4.270	De Grenelle, 8 feuilles, moins les pétioles et les 2/3 nervures médianes.	26.68
0.395	2.560	2.800	Pétioles et 2/3 des nervures médianes........	17.50

d'azote dans leur composition intime. Alors la cellulose, sécrétée dans les cavités des tissus, épaissit leurs parois et les solidifie. Ce qui prouve que les choses se passent ainsi, se put tirer du bourgeon et de ses développements.

Admettons que le bourgeon, eu égard à son volume, soit né depuis peu de temps : il contient une quantité notable de substance azotée dans sa partie supérieure, attendu que cette partie est la plus jeune; tandis que la partie inférieure de

ce même bourgeon, étant plus âgée, a perdu une partie des matières azotées, lesquelles ont fait place à la cellulose et aux principes ligneux ; d'où il résulte que cette partie inférieure s'est épaissie, s'est allongée, et a soulevé la partie supérieure. Ceci nous apprend comment il se fait que les mérithalles des tiges et des branches se développent successivement à partir de la base jusqu'au sommet. Reste à savoir ce que devient l'azote dont les proportions ont diminué. Retournerait-il dans le sol ou dans l'atmosphère d'où il est venu? Ou bien les composés, qui le comptent parmi leurs éléments, iraient-ils porter secours à d'autres organismes naissants? Cette dernière conjecture est la plus probable. Elle s'appuie sur des observations qui résultent de l'analyse chimique, et elle appelle notre attention sur une distinction importante entre des matières confondues dans un même fluide, mais dont les unes, à composition ternaire, se condensent pour donner naissance à de petites utricules, dont la paroi est d'une extrême minceur, ou pour épaissir et fortifier les parois d'utricules plus développées.

Pour faire apprécier à sa juste valeur ce qui précède, nous pensons que l'examen approfondi d'un fait particulier ne paraîtra pas déplacé ici. Voici ce fait : nous avons, il y a quelques années, choisi sur un Marronnier d'Inde (*Æsculus Hippocastanum*) un jeune bourgeon bien constitué, lequel commençait à se développer, non par son sommet, mais par sa base. Cette base s'allongeait, s'épaississait et donnait naissance à un mérithalle. Quand ce mérithalle eut atteint neuf centimètres de long, nous jugeâmes à propos de le partager par la pensée en trois parties égales, mesurant chacune trois centimètres, ce qui fut facile en fichant la pointe de deux

camions dans l'écorce du mérithalle, l'un à trois centimètres au-dessus de sa base, l'autre à trois centimètres au-dessous de la base du mérithalle supérieur. Nous disons du mérithalle supérieur, car tandis que le premier mérithalle se développait, un second prenait naissance entre lui et le bourgeon, et d'autres devaient de même se former plus tard.

Mais revenons à notre premier mérithalle. Nous le coupâmes longitudinalement en deux parties égales, et, comme nous devions nous y attendre, nous ne tardâmes pas à reconnaître que l'épaississement avait pour cause la formation des couches utriculaires, superposées les unes aux autres, lesquelles offraient d'autant moins de consistance qu'elles se rapprochaient davantage de la base du mérithalle supérieur, qui était en voie de se développer, comme avait fait le précédent. Mais, dira-t-on, d'où provient cet affaiblissement graduel des nouvelles couches utriculaires? A cette question, l'analyse chimique répond par des faits irrécusables. Plus les tissus sont jeunes, moins ils contiennent de substance ligneuse et de cellulose. Il s'ensuit donc que, dans un mérithalle donné, les tissus inférieurs qui sont évidemment les plus anciens, passent les premiers à l'état ligneux, tandis que les tissus supérieurs qui sont de formation toute récente, et qui se dirigent incessamment vers le sommet du mérithalle et vers la base des feuilles, n'ont pas encore eu le temps de se transformer en bois.

De Lahire, savant académicien du XVIIe siècle, imagina que les couches ligneuses des dicotylées partaient de la base du bourgeon et descendaient jusqu'au collet des racines. Cette manière de voir n'était justifiée par aucun fait positif, ce qui n'empêcha pas que plus tard le savant Du Petit-

Thouars adopta la doctrine de Lahire, mais s'efforça vainement de la faire prévaloir. Il avait remarqué que, quand on greffe un bourgeon sur un arbre, il arrivait quelquefois que la base du bourgeon donnait naissance à des filets qui se dirigeaient vers la terre, et comme il ne les voyait pas descendre au delà de quelques centimètres, son ardente imagination lui suggéra la pensée que *ces fibres se produisaient et s'accroissaient par une force organisatrice qui, comme l'électricité et la lumière, semble ne point connaître de distance.* Nous reproduisons ici les propres paroles de Du Petit-Thouars. Toutefois, nous aurions peine à croire qu'aujourd'hui aucun phytologiste se contentât de cette explication. Il est de toute évidence que les filets, nés de la base d'un bourgeon, sont de véritables radicelles. Il suffit quelquefois d'asseoir le bourgeon sur une terre légère et un peu humide, pour qu'il s'enracine, et donne naissance à une plante de son espèce.

Voici un fait non moins digne d'attention. Nous choisissons une feuille saine tenant à l'arbre, et à l'aide d'une aiguille et d'un fil nous faisons une ligature autour de l'une des nervures les plus saillantes, et peu de temps après nous apercevons qu'il s'est formé un épaississement notable au-dessus de la ligature. Mais à quelle cause attribuer cet épaississement, si ce n'est à la tendance de la matière nutritive à se porter vers la base du végétal? Nous en avons la preuve dans les arbres dicotylés. Une forte ligature opérée sur des tiges ou des branches ne tarde pas à faire naître d'épais bourrelets. Que si, au contraire, nous laissons croître l'arbre en toute liberté, la matière organisatrice, une partie du cambium en un mot, se déposera entre l'écorce et le bois, à

partir des jeunes sommités de l'arbre jusqu'au collet de sa racine, et c'est à ce point d'arrêt que commencera la lignification. Celle-ci prendra une marche ascendante et s'étendra de proche en proche jusqu'aux derniers rameaux. Ce sera en grand la répétition de ce que nous avons vu en miniature, dans le mérithalle du Marronnier d'Inde.

Jusqu'à ce moment nous n'avons rien dit de ce qui touche directement aux arbres monocotylés. Entre ceux-ci et les dicotylés la différence est grande. Ces derniers prennent à juste titre le premier rang. Leur organisation interne se fait remarquer tout d'abord, soit par la belle ordonnance des parties, soit par la solidité de l'ensemble. L'organisation interne des arbres monocotylés est fort différente. Au premier coup d'œil, il semble que chez eux il n'y ait que désordre et confusion ; mais si l'on étudie sérieusement l'œuvre de la nature, on est amené à reconnaître qu'elle n'a rien fait qui ne soit digne de notre attention.

Un puissant bourgeon, qui étale ses grandes et belles feuilles à la surface du sol, commence le stipe du Dattier. Ce bourgeon vieillit; les feuilles le plus bas placées se détachent, et dans le même temps de nouvelles feuilles commencent à poindre à la partie supérieure de l'axe du stipe. Ces feuilles à leur tour grandissent, vieillissent et tombent. D'autres leur succèdent en tout semblables aux précédentes. Cet état de choses se prolonge aussi longtemps que dure la végétation de l'arbre, qui n'est, pour bien dire, qu'un bourgeon continu, et qui, par conséquent, n'a point de mérithalle. Il est à remarquer qu'à leur base toutes les feuilles du Dattier se touchent, se pressent, et que, lorsqu'elles viennent à se détacher, chacune d'elles laisse sur le stipe un épais tronçon

dont la surface dessine un losange, et tous les tronçons ajustés les uns à la suite des autres forment sur le stipe une bande en relief, laquelle décrit une hélice souvent interrompue par la chute des tronçons.

Ce n'est pas certainement par des coupes longitudinales et transversales qu'il nous est possible de prendre une connaissance approfondie de la disposition, de la marche et des fonctions des filets qui parcourent le stipe. Toutefois, nous devons reconnaître que, dans certains cas, tels que ceux que nous allons citer, une coupe verticale peut très-bien éclairer l'observateur. Soit pour exemple le stipe du Dattier. A l'aide d'un instrument tranchant, nous le fendons dans toute sa longueur en deux parties égales, et par cette opération nous mettons au grand jour un faisceau de filets qui s'allongent de bas en haut dans la partie centrale de l'arbre. Il est évident qu'ici le secours de l'anatomie est tout à fait inutile. Elle ne nous a pas servi davantage pour constater que les filets, généralement parlant, naissent de la superficie interne du stipe. Mais ces mêmes filets ne tardent pas à s'enfoncer dans les amas de tissu utriculaire, et c'est alors que l'observateur doit avoir recours à l'anatomie pour enlever ces tissus et mettre à nu les filets sans les offenser, quelles que soient d'ailleurs les diverses routes qu'ils prennent. Avec de la patience, un peu d'adresse, un scalpel, on obtient ce résultat.

Parmi les innombrables filets que nous avons sous les yeux, nous en distinguons un qui nous semble d'une constitution plus robuste que les autres, et que nous avons ailleurs et pour cause nommé *filet précurseur*. Né de la périphérie interne, ce filet se dirige d'abord vers le centre de l'arbre en décrivant une courbe ascendante, et peu après il

prend place dans le faisceau de la région centrale. Puis, arrivé à une certaine hauteur, il se sépare du faisceau et se glisse horizontalement à travers le tissu utriculaire vers la périphérie interne, laquelle est située plus ou moins à l'opposite du premier point de départ du filet précurseur. Celui-ci va s'attacher à la base d'une feuille naissante, et, chose remarquable, tous les petits filets jusqu'alors dispersés se rassemblent, se pressent autour de lui, comme par une sorte d'instinct, et tous ensemble vont aussi porter secours à la jeune feuille.

Que l'on se garde de croire que le fait que nous venons d'exposer, soit unique dans le stipe du Dattier. Bien s'en faut qu'il en soit ainsi, car il se reproduit aussi souvent qu'une feuille apparaît; et comme les feuilles naissent de tous côtés et se disposent sur le stipe suivant un ordre symétrique, il s'ensuit nécessairement qu'il s'opère un croisement général des filets précurseurs dans toute la longueur de l'arbre.

Quant aux filets, considérés isolément, nous remarquerons qu'ils ont une grande affinité avec les couches ligneuses des dicotylés, sinon par la forme, du moins par la consistance. Comme dans les dicotylés, ces filets se changent en bois à partir de la base de l'arbre, et la lignification va s'affaiblissant de plus en plus, à mesure que les filets s'allongent, pour aller s'attacher aux feuilles. Il y a loin de cette doctrine à celle de Lahire et de Du Petit-Thouars.

En résumé, si la formation des tissus et des filets avait lieu en descendant du haut jusqu'au pied des arbres, il est évident que leurs sommités les plus élevées seraient plus âgées que les parties inférieures. Les premières renfermeraient en plus fortes proportions la cellulose et la matière

ligneuse, d'où il résulterait qu'elles contiendraient relativement moins de matière azotée. Or, c'est le contraire qui toujours a lieu; nous l'avons prouvé par des faits nombreux dans notre premier mémoire. Ainsi, l'analyse chimique s'accorde en tous points avec l'anatomie et l'observation attentive, pour repousser cette erreur de l'imagination de nos devanciers.

Après avoir déduit, de notre première série d'expériences, les conséquences que nous venons d'exposer, nous avons entrepris de nouvelles études, dans lesquelles l'emploi des réactifs pouvait éclairer les observations anatomiques, et montrer d'autres effets du développement de l'organisme végétal.

En voyant les substances ternaires (formées d'hydrogène, d'oxygène et de carbone) consolider les tissus et accuser leur âge, il nous sembla que ces substances devaient apporter des changements, dignes d'intérêt, à la structure des parties dont la vitalité se prolonge au delà des limites ordinaires.

Nous avons d'abord examiné à ce point de vue les feuilles qui résistent à la chute automnale : parmi les moyens de consolidation que leur fournissent les matériaux non azotés en s'y accumulant, nous avons découvert en effet des organes nouveaux, assez remarquables. Ce sont des fibres de cellulose incrustée, étendant leurs ramifications d'une face à l'autre du limbe : sortes de renforts qui maintiennent l'écartement entre les épidermes, et semblent garantir le parenchyme contre la pression des couches épidermiques épaissies. Ailleurs, de nombreuses cloisons, formées de cellules à fortes parois et traversant de même tout le parenchyme de la feuille,

produisent encore une consolidation générale et soutiennent les faisceaux vasculaires des nervules.

On remarquera des dispositions de ce genre, et en outre un bourrelet marginal de cellules épaisses et injectées, dans les coupes des feuilles des Camelias, de l'Olea fragrans, du Thea viridis, du Magnolia grandiflora, du Nerium oleander, du Houx, des Orangers, du Buis, etc.

Nous avons vérifié sur les feuilles du Laurier rose et tracé, sous le microscope, la disposition singulière des stomates, au fond de cavités spéciales dont l'entrée, irrégulièrement circulaire, est abritée par de nombreux poils recourbés.

Une abondante sécrétion de globules amylacés s'est offerte à nos regards dans les cellules du parenchyme parmi les feuilles bien développées du Thé et des Camelias.

Sur tous les points où l'épaississement des cellules et des fibres simples ou rameuses a lieu rapidement dans les feuilles, on remarque des canalicules en grand nombre, traversant les parois et mettant en communication la cavité centrale, graduellement rétrécie, de ces fibres, avec les tissus ambiants ou leurs méats.

Ces canalicules perforent aussi les cellules, injectées et épaissies par les principes immédiats du bois (lignose, lignin, lignine, ligniniréose), dans les divers noyaux et les pepins de raisin. Nous avons observé des dispositions analogues dans les fibres lancéolées, libres ou réunies en faisceaux, des écorces de Cinchona (1).

---

(1) Ces fibres corticales, à double pointe et très-petites, se répandent en poussière durant la pulvérisation du quinquina jaune; elles occasion-

Les noyaux de Celtis ont présenté une particularité remarquable dans leur composition : les épaisses parois de leurs cellules sont formées de cellulose caverneuse, dont toutes les petites cavités sont remplies de carbonate calcaire ; ce sel, très-compacte, donne une grande dureté à tout l'ensemble du noyau.

Dans beaucoup de feuilles, et surtout dans les feuilles du Hêtre, nous avons observé et reproduit par des figures la disposition des cristaux d'oxalate de chaux en séries linéaires parallèles aux nervures et nervules.

Les formes élégantes des glandes oléifères et les plis symétriques de la cuticule épidermique autour d'elles comme autour des stomates, nous engagèrent à dessiner plusieurs plans et coupes des feuilles du Lilas.

Nous nous sommes efforcés de représenter, à l'aide d'un fort grossissement, le mécanisme du développement de la cuticule épidermique, en montrant les granules qui, successivement interposés, lui donnent plus d'étendue et d'épaisseur.

Nous avons consacré plusieurs des seize planches, ci-après décrites, à montrer les détails de ces structures diverses et les progrès de leurs développements. Les changements de formes et de couleur sous l'influence des réactifs ont été indiqués lorsqu'ils pouvaient mieux caractériser les différentes parties de l'organisme, faire distinguer les uns des autres la cuticule, les cellules sous-jacentes, la cellulose pure,

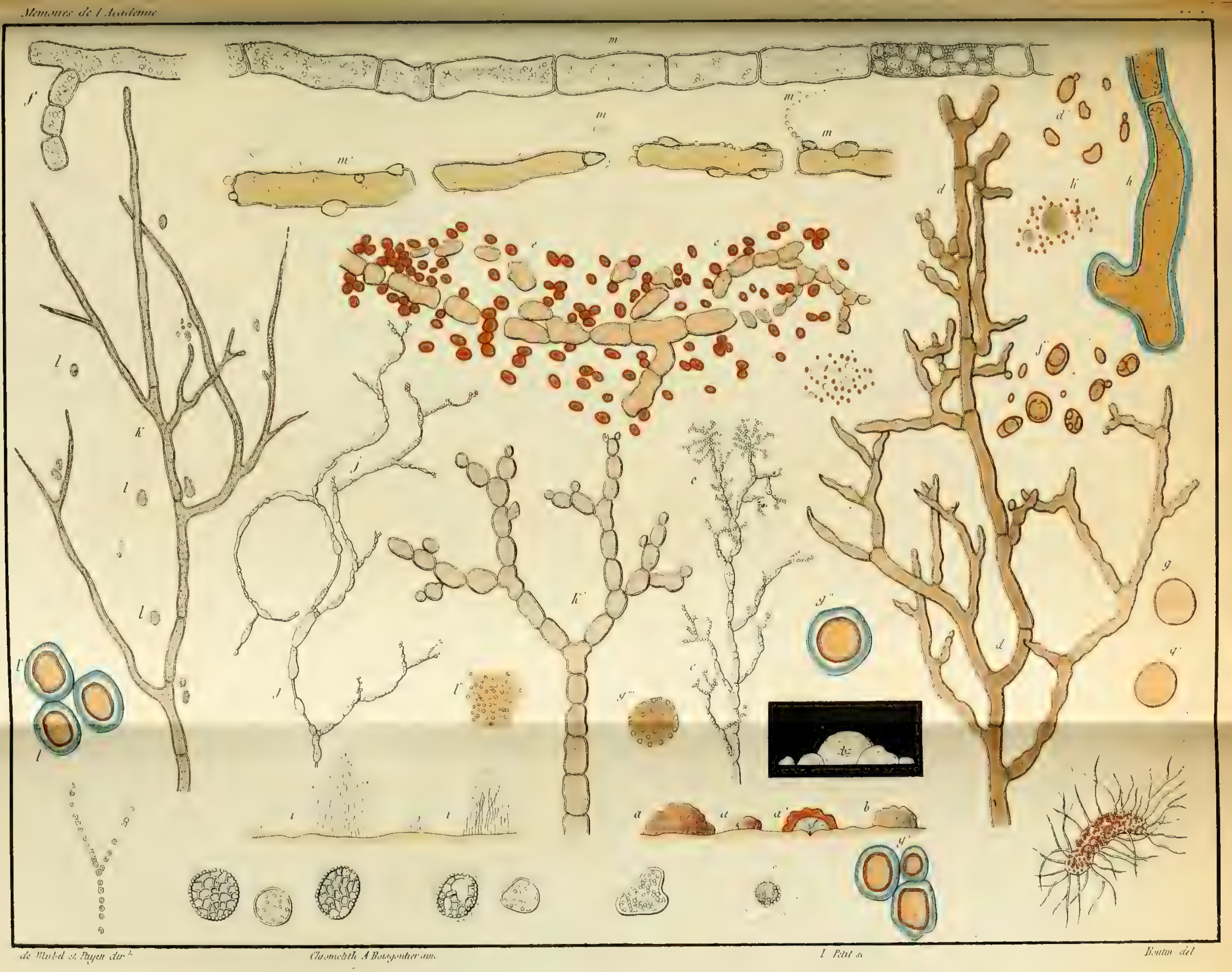
---

nent, en s'implantant sur la peau, les démangeaisons vives dont se plaignent les ouvriers.

la cellulose injectée de matière ligneuse, les corpuscules azotés, les gouttelettes oléagineuses. Enfin, nous sommes parvenus à montrer ainsi, à côté de leurs formes extérieures, les dédoublements des parties et la structure intime de plusieurs Champignons microscopiques.

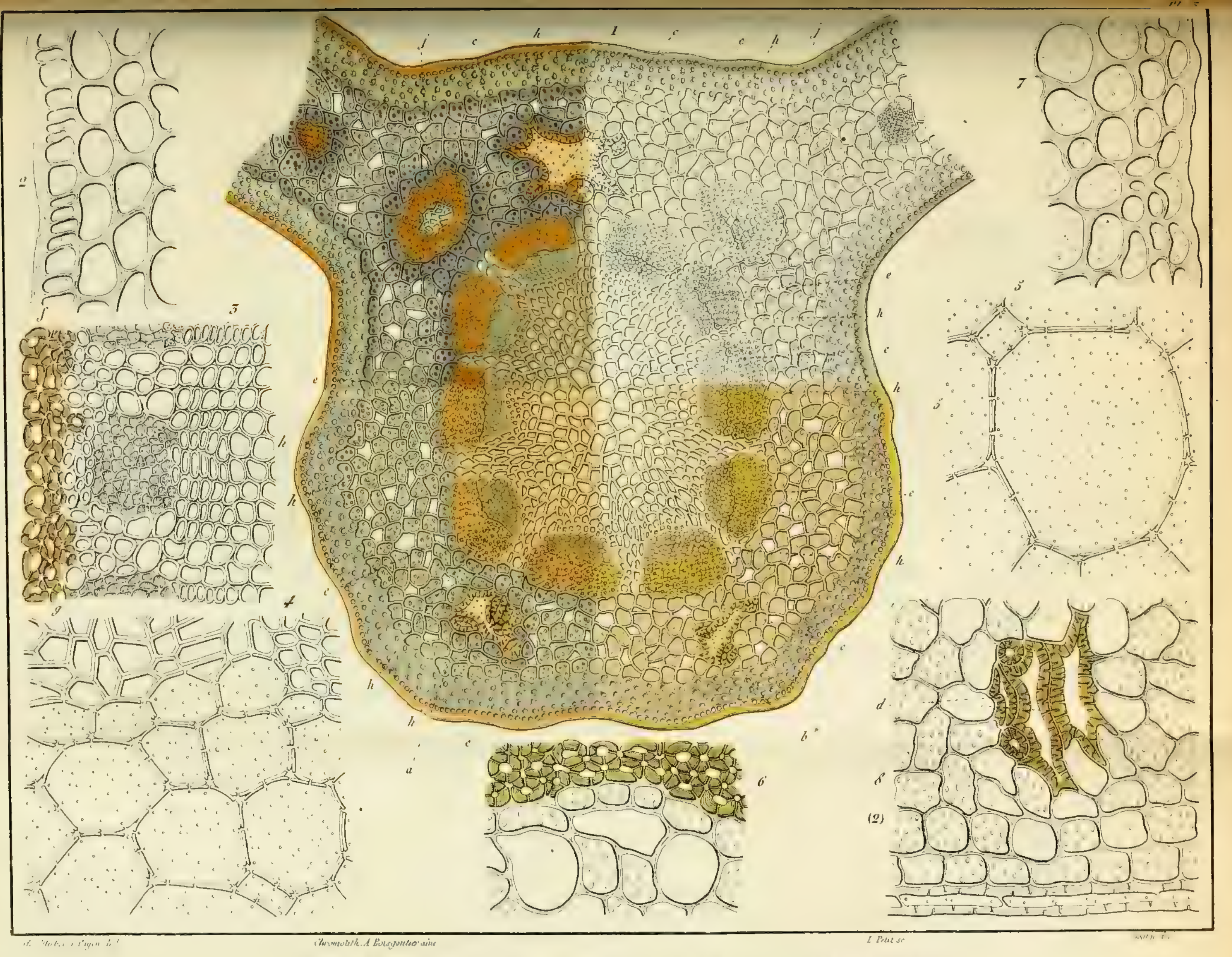
... d'Hyères ... Chromolith. A. Bergontio aîné L. Bat sc. Bouton del.

ÉPIDERME DE CACTUS.



de Mirbel et Payen dir.t Chromolith A Bougontier aîn. J Petit sc Boutin del

CHAMPIGNONS ROUGES DU PAIN, DU SUCRE, &a.



NERVURE MÉDIANE D'UNE FEUILLE DE MAGNOLIA GRANDIFLORA.

CONSIDÉRATIONS

SUR LA

REPRODUCTION, PAR LES PROCÉDÉS

DE M. NIEPCE DE SAINT-VICTOR,

DES IMAGES

GRAVÉES, DESSINÉES OU IMPRIMÉES,

PAR M. E. CHEVREUL.

Lues dans la séance du 25 octobre 1847.

INTRODUCTION.

1. Si la nouveauté et l'imprévu suffisaient pour donner à des expériences tout l'intérêt qui peut satisfaire une pure curiosité, je n'aurais rien à ajouter à l'exposé qu'on vient d'entendre des travaux de M. Niepce de Saint-Victor, tel qu'il l'a rédigé et déposé à l'Académie ; mais par l'originalité des résultats, par les conséquences qu'ils ont déjà et celles qu'ils auront encore tôt ou tard, ces travaux m'ont paru se prêter à des considérations que ne jugeront pas superflues les personnes qui s'efforcent de lier les faits nouveaux avec

ceux que l'on connaissait déjà, afin d'établir la contiguïté des efforts par lesquels s'étend incessamment le champ de la science, comme si une seule intelligence le cultivait.

2. Il s'en faut beaucoup que les chimistes et les physiciens aient donné une égale attention aux différentes sortes d'actions moléculaires que la matière présente à l'observation.

3. Les actions en vertu desquelles se font les combinaisons définies ont occupé les chimistes, pour ainsi dire, à l'exclusion des physiciens, soit qu'il s'agisse des composés résultant des affinités les plus énergiques en vertu desquelles des corps comme l'oxygène, le chlore, etc., s'unissent au potassium, au sodium, etc., ou des composés résultant de la neutralisation mutuelle des acides et des alcalis; soit qu'il s'agisse des composés ternaires ou quaternaires définis, dans lesquels on expulse un de leurs éléments, l'hydrogène, par exemple, par un autre corps, tel que l'oxygène, le chlore, etc. Les chimistes n'ont pas borné leur étude aux phénomènes passagers de ces actions; ils l'ont étendue encore aux propriétés de leurs produits.

4. Les actions moléculaires en vertu desquelles se font les composés indéfinis, tels que la plupart des alliages métalliques, la solution de corps solides ou de fluides élastiques dans les liquides neutres, et des composés solides produits d'une cémentation, comme l'acier, ont fixé à la fois l'attention des chimistes et celle de plusieurs physiciens, parce qu'il semble en effet que, dans les composés indéfinis, l'affaiblissement de l'action moléculaire rapproche les phénomènes de ceux qui sont du domaine de la physique.

5. Les actions moléculaires par lesquelles des corps dissous dans des liquides se fixent à des solides, sans que la forme de

ceux-ci en paraisse changée, comme cela arrive aux étoffes teintes dans des bains colorés, n'ont guère été examinés jusqu'ici que par le petit nombre des chimistes qui se sont livrés à l'étude de la théorie de la teinture. Je cite particulièrement ces composés pour exemple des combinaisons chimiques que je rapporte à l'*affinité capillaire*, parce que c'est essentiellement par les molécules de sa surface qu'un solide entre sans désagrégation de ses molécules en combinaison avec un corps.

6. Quant aux actions moléculaires en vertu desquelles l'eau donne aux tissus des animaux les propriétés nécessaires à remplir le rôle que l'organisation leur a imposé dans les phénomènes de la vie, et à divers corps pulvérulents inorganiques la propriété de constituer des pâtes tenaces et ductiles, elles ont été l'objet d'études plus rares encore que les précédentes.

7. Enfin, des chimistes aussi bien que des physiciens se sont occupés de l'examen des actions que certains solides, particulièrement ceux qui sont poreux ou réduits en poudre impalpable, exercent par leur surface sur des fluides élastiques; leur attention s'est particulièrement fixée sur les phénomènes manifestés pendant l'action plutôt que sur les propriétés permanentes acquises par les corps qui y ont pris part; résultat tout simple quand on considère qu'aux yeux de beaucoup de chimistes, l'affinité de laquelle on fait dépendre les combinaisons définies n'existe pas dans les cas dont nous parlons.

8. En définitive, nous voyons comment, à une certaine limite des actions moléculaires, le chimiste et le physicien interviennent dans l'étude de phénomènes qui, au dire de

plusieurs, seraient affranchis de l'affinité proprement dite, et rentreraient d'après cela dans la classe des actions purement physiques. Quoi qu'il en soit de cette opinion, les produits de ces actions n'ont point un caractère de permanence dans leurs propriétés, ou une constitution susceptible d'être déterminée d'une manière tellement précise, qu'on puisse les comparer aux composés chimiques proprement dits, à ceux même dont les proportions des éléments sont indéfinies.

9. J'ai cru devoir rappeler cet état de la science, dans l'espérance d'en faire comprendre les rapports avec les recherches de M. Niepce de Saint-Victor; car dans les expériences qu'il a décrites, l'influence de l'affinité est incontestable. Il se forme des composés définis, des composés analogues à ceux qui sont produits en teinture lorsque des étoffes se combinent à des acides, à des bases, à des sels, à des principes colorants, sans changement de leur état solide; en outre, des vapeurs se fixent à des solides en vertu d'une force attractive suffisante pour vaincre une partie de leur tension seulement, de sorte que, dans le vide ou dans un espace qui est au-dessous d'une certaine limite de saturation de cette même vapeur, les solides qu'on y place laissent exhaler la totalité, ou du moins une portion de celle qu'ils avaient fixée d'abord.

10. Pour plus de clarté, je ferai trois catégories des expériences de M. Niepce de Saint-Victor.

Dans la *première*, je comprendrai celles qui concernent la reproduction, au moyen de l'iode, d'une gravure, d'un dessin, d'un imprimé, etc., sur un papier collé en cuve avec de l'amidon et du résinate d'alumine, ou sur un enduit d'amidon

cuit et adhérent à une surface unie de verre ou de porcelaine.

Dans la *seconde*, je comprendrai les expériences dont l'objet est la reproduction d'une gravure, d'un dessin, d'un imprimé, etc., sur une surface métallique polie, au moyen de divers fluides élastiques.

Dans la *troisième*, je parlerai de la reproduction des images du foyer d'une chambre obscure, au moyen d'un composé d'argent appliqué sur un enduit d'albumine au lieu de l'être sur du papier.

§ I.

PREMIÈRE CATÉGORIE D'EXPÉRIENCES.

Reproduction, au moyen de l'iode, d'une gravure, d'un dessin, d'un imprimé, etc., sur un papier collé en cuve avec de l'amidon et du résinate d'alumine, ou sur un enduit d'amidon cuit et adhérent à une surface unie de verre ou de porcelaine.

---

11. Lorsqu'on expose à la vapeur d'iode un papier bien sec sur lequel se trouve une image quelconque, gravée, dessinée ou imprimée, la vapeur se fixe aux parties noires du papier, de préférence aux parties blanches : cependant, il s'en fixe un peu sur ces dernières; aussi s'y manifeste-t-il une teinte jaune lorsque l'exposition à la vapeur a été prolongée comme il convient à la réussite de la reproduction de l'image sur papier.

Si l'on applique l'image convenablement iodée sur un papier qui contient de l'amidon et mouillé d'eau aiguisée d'acide

sulfurique pur, ou, ce qui est bien préférable, sur un enduit uni d'amidon cuit fixé au verre ou à la porcelaine, et également mouillé d'eau acidulée, l'iode quitte la matière de l'image pour constituer avec l'amidon le composé bleu ou bleu violet connu de tout le monde. Les premières épreuves doivent toujours être rejetées, parce que les blancs sont colorés par la petite quantité de vapeur d'iode qui s'est fixée aux parties blanches de l'image originale; on ne peut voir sans étonnement la fidélité avec laquelle les traits les plus délicats du modèle se retrouvent dans les épreuves que l'on obtient ensuite.

12. Au point de vue scientifique, l'étude de cette reproduction est très-intéressante. En effet, lorsque le modèle se trouve exposé à la vapeur d'iode, celle-ci se porte sur les noirs de préférence aux blancs: mais cela ne veut pas dire que ce soit à l'exclusion des blancs; car en prolongeant l'exposition, ceux-ci se colorent en orangé jaune-brun par de la vapeur d'iode qui s'y condense. Qu'est-ce qu'il y a donc de vrai dans les expériences de M. Niepce?

1° C'est que les noirs absorbent la vapeur d'iode plus vite que les blancs, et en proportion plus considérable; dès lors, en n'exposant une gravure à la vapeur d'iode qu'un temps insuffisant à la coloration des blancs, les noirs iodés seuls peuvent reproduire leur image.

2° C'est que si une gravure a été exposée à la vapeur d'iode assez longtemps pour que les blancs se soient iodés, en la tenant ensuite à l'air libre un temps convenable, l'iode abandonne les blancs, tandis qu'il en reste assez dans les noirs pour que ceux-ci reproduisent leur image.

13. Tous ces effets se manifestent en prenant les corps à

une même température, en les mettant en présence à la lumière diffuse ou dans l'obscurité, au milieu de l'air ou dans le vide.

14. *Conclusion.*

Il y a une force attractive dans la matière des noirs capable de surmonter la force répulsive de la vapeur d'iode. Cette force existe dans la matière blanche du papier, mais à un degré plus faible.

Elle est identique à celle qui opère la condensation des fluides élastiques à la surface des corps.

Si on la confond avec l'affinité, son action est des plus faibles dans les phénomènes dont nous parlons [(4) et (7)].

15. La force attractive en vertu de laquelle les noirs fixent la vapeur d'iode se manifeste encore lorsqu'on plonge une gravure dans l'eau d'iode pendant 4 minutes : celui-ci quitte son dissolvant pour s'unir à la matière des noirs, et la gravure passée dans l'eau pure reproduit ensuite son image sur enduit d'amidon, comme si elle eût été préalablement exposée à la vapeur de l'iode.

16. Ces expériences sont du plus grand intérêt pour la théorie de la teinture, car une gravure est, par rapport à l'iode dissous dans l'eau que ses noirs attirent plus fortement que ne le font les blancs, ce qu'une toile de coton, sur laquelle on a appliqué la matière d'un dessin mordancé d'alumine, de peroxyde d'étain, de peroxyde de fer, etc., au moyen d'une planche ou d'un rouleau gravé, est par rapport aux principes colorants de la cochenille, de la garance, de la gaude, etc., dissous dans un bain de teinture, que fixent les parties mordancées. Si l'opération ne se prolonge pas, si les principes colorants ne sont point en excès, les parties de la

toile non mordancées pourront ne point se colorer, ainsi que les blancs de la gravure peuvent ne pas prendre d'iode. Mais dans le cas contraire, les blancs perdront leurs principes colorants par l'exposition aux agents atmosphériques ou par un bain léger de chlore, comme les blancs d'une gravure iodée perdront leur iode par l'exposition à l'air ou par un simple lavage à l'eau.

17. Les noirs d'une gravure fixant l'iode à l'état de vapeur aussi bien que l'iode en solution dans l'eau, établissent un nouveau rapport entre le phénomène de la condensation d'un fluide élastique par un solide, et le phénomène de la fixation par un solide d'un corps dissous dans un liquide.

18. Enfin l'iode fixé aux noirs les abandonne, du moins en partie, pour se fixer sur l'amidon humecté formant enduit sur papier, sur plaque de verre, ou encore sur plaque de porcelaine, et il reproduit l'image des noirs en iodure d'amidon d'un bleu violet, connu de tous ceux qui s'occupent de chimie.

Si l'amidon humide a une supériorité d'affinité pour l'iode sur la matière des noirs, le cuivre à son tour en a une plus grande que l'amidon pour le même corps. Rien de plus intéressant que les deux expériences suivantes de M. Niepce de Saint-Victor, qui le prouvent :

Première expérience. On applique une gravure iodée sur un enduit d'amidon humide adhérent à une plaque de cuivre ; l'iode quitte les noirs, passe au travers de l'amidon, se porte sur le métal, s'y unit et y dessine l'image.

Deuxième expérience. Une image d'iodure d'amidon bleu-violet sur verre est mouillée, puis appliquée sur une plaque de cuivre. L'image colorée s'évanouit peu à peu, pour se re-

produire sur la plaque de cuivre en iodure de ce métal.

19. Certes, au point de vue de la mécanique chimique, il est peu de phénomènes aussi remarquables que cette succession de fixations et de déplacements de l'iode relativement à une série de corps doués chacun à son égard d'une force attractive différente; ainsi, la matière noire d'une gravure l'attirant plus que ne le fait le papier blanc, rappelle à la fois l'action des corps poreux sur les vapeurs et celle des étoffes mordancées sur des principes colorants dissous dans l'eau; l'amidon humide, enlevant l'iode à la matière noire des gravures, forme un iodure bleu dont la composition paraît bien définie; enfin, le cuivre, enlevant à son tour l'iode à l'amidon, constitue sans doute encore avec lui un composé défini, et, fait digne d'attention, dans tous ses déplacements, l'iode constitue toujours l'image produite par la matière noire qui l'a absorbé en premier lieu!

20. La vapeur d'iode se fixe aux noirs produits sur papier blanc avec de l'encre grasse, de l'encre aqueuse non gommée, de la plombagine, du charbon de fusain, de préférence aux blancs; elle se comporte d'une manière analogue à l'égard du bois d'ébène relativement au bois blanc, de la soie noire relativement à la soie blanche, enfin des parties noires des plumes blanches et noires de pie et de vanneau relativement aux parties blanches de ces mêmes plumes.

21. Avant de passer outre, je crois utile d'ajouter quelques faits propres à démontrer que c'est bien à une force attractive qu'il faut attribuer la cause de la condensation de la vapeur sur les matières noires dont je viens de parler; qu'en conséquence, on ne pourrait admettre que la vapeur d'iode s'arrêterait aux noirs comme sur un obturateur, tan-

dis qu'elle filtrerait sans obstacle au travers des blancs.

(*a*) Si on applique une gravure iodée entre deux plaques de cuivre pendant 8 ou 10 minutes, l'image apparaît sur chacune des plaques. La plaque qui touchait le *recto* de la gravure présente l'image en *sens inverse* de celle du modèle, tandis que la plaque qui touchait le *verso* présente l'image en *sens direct*. Si les noirs étaient imperméables à la vapeur d'iode, s'ils faisaient fonction d'obturateur à son égard, il n'y aurait pas eu d'image reproduite sur cette dernière plaque.

(*b*) M. Niepce a parfaitement constaté encore que cette reproduction de l'image a lieu au delà du contact apparent, fait important pour la théorie des images de Moser.

(*c*) On colle le verso d'une gravure sur plaque de verre; on expose la gravure à la vapeur d'iode. Il est évident qu'il n'y a plus de filtration possible par les blancs du papier. Eh bien, la gravure imprime son image sur l'enduit d'amidon.

(*d*) Une gravure pénétrée d'un corps gras, exposée à l'iode, reproduit toujours son image; seulement, celle-ci est plus faible que si la gravure n'eût pas été imprégnée de corps gras.

(*e*) Une différence de porosité entre des parties noires et des parties blanches ne peut expliquer la condensation de l'iode sur les unes de préférence aux autres. En effet, si une règle d'ébène juxtaposée à une règle de bois blanc poreux reproduit son image sur une plaque de métal, à l'exclusion de celle de la seconde, une règle du même bois blanc, teinte en noir avec la teinture de chapelier, juxtaposée à une règle de bois bien compacte, reproduit son image, tandis que celle-ci ne la reproduit pas.

Il est donc évident, par cette double expérience, qu'une

différence de porosité ne suffit pas pour expliquer la différence d'aptitude à se pénétrer de vapeur d'iode que possèdent deux bois, dont l'un est noir et l'autre est blanc.

22. Je ferai observer maintenant que les images produites par le procédé de M. Niepce, au moyen de l'iodure d'amidon, n'ont pas la stabilité d'une image produite avec une encre ou un crayon dont le charbon est la base. Cette remarque ne diminue en rien le mérite du travail de M. Niepce, car il est de toute évidence que, s'il n'existe pas aujourd'hui de moyen de faire une image stable sur papier par son procédé, la possibilité d'en trouver un est incontestable, et des essais commencés par l'auteur donnent l'espoir que les obstacles ne sont pas insurmontables.

23. La couleur de l'iodure peut être modifiée suivant que l'amidon a été plus ou moins cuit; et la couleur bleue-violette de l'iodure ordinaire peut, au moyen de l'ammoniaque, se changer en couleur bistre ou marron.

24. Si une gravure est soumise à l'action de la vapeur de mercure, de la vapeur du soufre; si elle est imprégnée d'azotate d'argent, d'azotate de mercure, de sulfate de zinc, de sulfate de cuivre; si elle est passée à l'eau de gomme, à l'eau de gélatine, à l'eau d'albumine, elle perd la propriété de s'ioder. Mais M. Niepce peut la lui restituer par des moyens très-simples, particulièrement en recourant à l'ammoniaque dans certains cas.

M. Niepce reproduit les caractères du *recto* ou du *verso*, à volonté, d'une feuille imprimée des deux côtés

Il a reproduit l'image d'un tableau en exposant celui-ci à la vapeur d'iode, sauf certaines couleurs qui ne prennent pas l'iode, ou qui le fixent de manière à ne pas s'en séparer;

tels sont l'oxyde de cuivre, le minium, la céruse, l'orpin, le cinabre, l'outremer.

Il reproduit aussi les gravures coloriées non gommées, dans la coloration desquelles on n'a pas employé les matières précitées.

25. Il a fait un grand nombre d'observations intéressantes sur la propriété qu'a l'iode de s'attacher aux reliefs, aux pointes, aux arêtes, que les corps solides peuvent présenter.

C'est en vertu de cette propriété qu'il a reproduit sur métal l'image des timbres secs, et même, dans plusieurs cas, sur papier amidonné.

26. L'affinité élective en vertu de laquelle un corps simple ou composé chasse un corps qui est son analogue d'une de ses combinaisons pour en prendre la place, se retrouvant dans les aptitudes diverses d'une même vapeur à se combiner avec des corps divers, ou des vapeurs diverses à se combiner avec un même corps, on peut dès lors concevoir que si l'iode se combine ou se condense de préférence sur la matière noire d'une gravure, d'un dessin, d'une impression, plutôt que sur le papier blanc, il pourra y avoir telle autre vapeur qui présentera le résultat contraire. De sorte que si cette vapeur, après s'être fixée sur le blanc du papier, s'en dégageait ensuite pendant qu'on la presserait contre une surface dont la matière constituerait avec elle un composé coloré, il est évident que l'image qu'on obtiendrait alors présenterait les ombres et les clairs répartis inversement de ce qu'ils sont dans l'image originale.

27. M. Niepce a vu qu'en plongeant dans une solution d'hypochlorite de chaux des lettres noires imprimées à l'encre grasse sur papier blanc pendant cinq minutes, on obtient, après les avoir exprimées entre deux papiers-brouillard,

contre un papier de tournesol imprégné d'eau pure, des lettres bleues sur un fond blanc. Il est donc incontestable que le corps décolorant a pénétré le blanc du papier, et qu'ensuite il a réagi sur la matière bleue de ce dernier, tandis qu'il ne semble pas s'être fixé aux noirs; ou s'il s'y est fixé, une affinité plus forte que celle du papier blanc l'y a retenu. Quoi qu'il en soit, l'effet est inverse de celui que produit l'iode.

28. Puisqu'une vapeur exposée au contact des parties hétérogènes d'un même objet peut se condenser en beaucoup plus grande quantité sur les unes que sur les autres, si elle ne se condense pas sur les premières, à l'exclusion absolue des secondes, on conçoit la diversité d'un grand nombre d'effets susceptibles d'être produits par cette même cause; et je fais surtout allusion à des effets ressentis par des corps vivants, en vertu des propriétés de la matière que j'appelle *organoleptiques*. J'induis donc de là la possibilité des effets suivants :

1° Différents corps étant exposés à une même matière odorante, les uns ne l'absorbent pas, tandis que les autres l'absorbent. Ceux-ci pourront donc devenir odorants dans des circonstances où les premiers ne le seront pas.

2° Un corps doué de la propriété d'absorber une vapeur vésicatoire, est distribué d'une manière symétrique à la surface d'un autre corps dénué de cette propriété. Si on expose les deux corps à cette vapeur et qu'on les applique ensuite sur la peau d'un animal, les ampoules qui naîtront par cette application seront l'image de la manière dont le premier corps était distribué à la surface du second.

3° Des poisons, des virus, des miasmes à l'état de vapeur sont en contact avec des corps susceptibles de les absorber et de les céder ensuite aux organes d'un animal; dès lors il arri-

vera qu'ils seront les véhicules de ces poisons, de ces virus, de ces miasmes, tandis que d'autres corps qui auront été exposés en même temps que les premiers à cette même vapeur sans pouvoir l'absorber n'auront aucune action sur les animaux.

4° Dans les trois cas précédents, j'ai supposé les effets produits par des vapeurs qui, absorbées d'abord par un corps à l'exclusion d'un autre, s'en séparent ensuite ; mais très-probablement il y a des corps qui, après avoir absorbé une vapeur, ne la laisseraient pas dégager dans des circonstances où d'autres corps, doués aussi de la faculté de l'absorber, mais n'ayant pas pour elle une affinité aussi forte, la laisseraient dégager. Conséquemment, on pourrait se tromper si l'on concluait toujours de ce qu'un corps, après son contact avec une vapeur, ne produit aucun effet susceptible de dénoter la présence de cette vapeur condensée, qu'il n'existe pas d'affinité mutuelle entre les deux corps.

§ II.

DEUXIÈME CATÉGORIE D'EXPÉRIENCES.

Reproduction, sur une surface métallique polie, d'une gravure, d'un dessin, d'un imprimé, etc., au moyen de divers fluides élastiques.

29. Pour celui qui ignorerait les résultats des expériences de la première catégorie, il serait difficile de se rendre compte des effets produits par les expériences de la seconde, et dès lors serait extrême la surprise qu'ils causeraient. Mais si les expériences dont je viens de parler diminuent cette surprise.

il y a au moins compensation, en considérant que le lien dont elles servent à celles qui vont nous occuper, satisfait au besoin qu'éprouve tout esprit élevé de coordonner les connaissances précises récemment acquises avec celles qu'il possédait déjà. Mais avant tout, parlons des expériences de la deuxième catégorie, afin d'insister sur les effets dont il s'agit d'expliquer les causes.

30. (*a*) On expose pendant cinq minutes à la vapeur d'iode, développée à la température de 20°, le papier sec sur lequel se trouve l'image qu'on veut reproduire. La vapeur, comme nous l'avons vu dans les expériences de la première catégorie, se fixe sur les noirs.

(*b*) Le papier ainsi iodé est appliqué pendant cinq minutes contre une plaque de cuivre sèche, récemment polie et préalablement nettoyée à l'eau aiguisée d'acide azotique d'abord, et à l'eau pure ensuite. L'iode quitte, en partie du moins, le papier pour le métal. Dès lors, en découvrant la plaque, le dessin apparaît, lorsqu'on la regarde dans un certain sens. Les clairs sont produits par la surface même du métal, et les ombres le sont par une couche de cuivre iodé qui est mate et de couleur de rouille.

(*c*) On fait chauffer de 50° à 60°, dans une capsule, de l'ammoniaque fluor; après la dissipation de la vapeur vésiculaire, on expose à la vapeur élastique et invisible la plaque de cuivre (*b*) qu'on vient de séparer du papier qui l'a iodée. Deux ou trois minutes suffisent pour accomplir l'effet de la vapeur. Voici ce que la plaque présente à l'observateur.

Les clairs où le métal était à nu sont devenus mats, de brillants qu'ils étaient, et d'un gris clair fort différent de la couleur du cuivre; les ombres du cuivre iodé ont pris plus

d'intensité, de manière que le contraste entre les clairs et les ombres est bien plus prononcé qu'il n'était avant le contact de la vapeur d'ammoniaque; aussi, sous toutes les incidences où l'on regarde l'image, les clairs et les ombres conservent invariablement leurs places respectives. Mais j'ai hâte de dire que le dessin a perdu de sa finesse; les traits ont été transformés en un véritable *pointillé,* semblable à celui de certaines *miniatures en camaïeu qui n'ont pas été finies.*

(*d*) On passe sur la plaque du tripoli, au moyen d'un flocon de coton humecté d'eau pure, dans le sens primitif du poli, et alors les traits du dessin reparaissent, mais sous l'incidence la plus favorable à la vision distincte de l'image, les clairs sont produits, non par la surface du cuivre pur, mais par la surface du métal qui a été modifiée par l'ammoniaque, c'est-à-dire qu'en vertu de cette modification elle est devenue mate et d'un gris blanchâtre; quant aux ombres, elles sont produites par le cuivre qui a été iodé dans l'origine. En définitive

a', Avant l'exposition au contact de l'ammoniaque.	les *clairs* sont le cuivre pur ; les *ombres*, le cuivre iodé.
b', Après l'exposition à l'ammoniaque.	les *clairs* sont le cuivre touché par l'ammoniaque ; les *ombres*, le cuivre primitivement iodé, et ensuite ammoniaqué.
c', Après le passage au tripoli.............. ..	les *clairs* sont le cuivre touché par l'ammoniaque ; les *ombres*, le cuivre primitivement iodé, et ensuite ammoniaqué, comme en *b'* lorsque l'image est vue de la manière la plus distincte ; mais il y a cette différence, qu'en *c'* le cuivre préalablement iodé a acquis l'éclat métallique, de sorte qu'il ne fait les ombres que dans la position où la lumière réfléchie spéculairement n'arrive pas au spectateur. Nous verrons plus bas la conséquence de cet état de choses (61).

Tel est le procédé de M. Niepce.

31. Si on passait la plaque qui vient d'être soumise à l'ammoniaque dans de l'eau très-légèrement aiguisée d'acide azotique,

Les *clairs* seraient toujours le cuivre qui n'a pas été iodé.
Les *ombres*, le cuivre qui a été iodé.

Si on passait au tripoli la plaque qui a été soumise à l'eau aiguisée d'acide azotique, les effets seraient encore les mêmes; mais les ombres paraîtraient moins intenses, parce que la modification produite par l'ammoniaque aurait été affaiblie. Avec de l'eau trop fortement acidulée l'image s'affaiblirait beaucoup; car l'acide, à une densité de 1,34, fait disparaître l'image.

32. *Remarque*. Lorsqu'un papier iodé a été appliqué encore humide sur la plaque de cuivre, et que les clairs de l'image étaient pénétrés d'une certaine quantité d'iode, les parties de la surface de la plaque correspondant aux clairs prennent de l'iode comme les parties correspondant aux ombres, quoique beaucoup moins. Il arrive dès lors que les clairs de la plaque, au lieu du *gris blanchâtre* qu'ils auraient présenté dans le cas où le papier iodé eût été appliqué parfaitement sec, ont une couleur d'un *gris jaunâtre*. Après avoir passé l'image au tripoli, l'influence de l'iode dans les clairs se fait encore sentir; ils sont moins brillants, plus mats ou plus gris que ne l'est le cuivre non iodé, poli après avoir été exposé à l'ammoniaque.

Explication des effets précédents.

33. Il y a cinq ans, si on m'eût communiqué les expérien-

ces de M. Niepce, en m'engageant à en expliquer les effets, alors que je ne m'étais point encore occupé de la théorie des phénomènes optiques que présentent les étoffes de soie, j'aurais certainement refusé d'entreprendre une pareille recherche, dans la conviction où j'aurais été d'y consacrer un trop long temps. Mais ayant connu ces expériences, lorsque mes études antérieures m'avaient suffisamment préparé à les examiner, j'ai pu me livrer au travail que je vais présenter, avec des détails minutieux sans doute, mais que justifieront, j'espère, la nouveauté du sujet et l'exactitude de mes explications.

34. Je commencerai par rappeler quelques faits de la reflexion de la lumière par des surfaces métalliques planes plus ou moins bien polies, parce qu'ils serviront de base aux explications que je donnerai des effets observés dans la deuxième catégorie des expériences de M. Niepce.

On prend deux plaques de cuivre identiques, plus longues que larges, non que les dimensions aient de l'influence sur les effets dont je veux parler; mais la différence des deux dimensions rend la description de ces effets plus claire, lorsqu'on les observe comparativement.

Les plaques sont posées sur un plan horizontal éclairé par la lumière diffuse du jour, de manière que le spectateur puisse les voir sous un angle compris entre 20° et 40°, soit face au jour, soit en lui tournant le dos. Ces plaques sont placées de manière que la longueur de l'une d'elles p se trouve comprise dans le plan vertical de la lumière incidente, tandis que la longueur de l'autre plaque p' est perpendiculaire à ce meme plan. Maintenant en regardant p, et ensuite p' successivement, face au jour d'abord, et en sens

contraire ensuite, on a les quatre circonstances 1, 2, 3 et 4, dans lesquelles j'ai placé chaque échantillon d'une étoffe pour en définir les effets optiques, tels que je les ai étudiés. (Voyez THÉORIE DES EFFETS OPTIQUES DES ÉTOFFES DE SOIE, page 18.)

Je vais examiner les effets de deux plaques identiques pour les quatre cas suivants :

Premier cas. Les deux plaques ont été polies, dans le sens de la longueur, avec une matière assez grossière pour qu'elles présentent des raies parallèles et des sillons fins et également profonds.

Deuxième cas. Les deux plaques ont été polies, dans le sens de la longueur, avec une matière assez fine, comme le tripoli, pour qu'elles ne paraissent pas rayées, quoiqu'elles le soient réellement.

Troisième cas. Les deux plaques ont été également rayées, dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur, d'une manière sensible.

Quatrième cas. Les deux plaques ont un poli parfait.

PREMIER CAS. Plaques rayées sensiblement dans le sens longitudinal. (Fig. 1.)

Côté de la lumière.

A fig. 1.

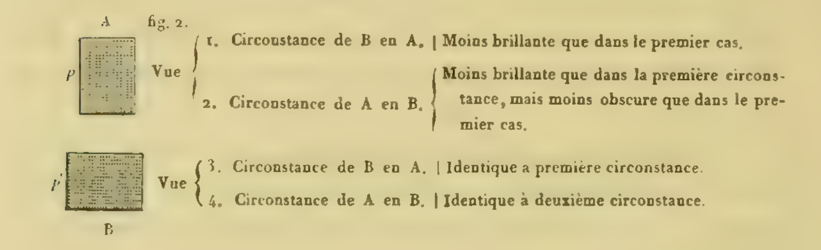
Plaque		Circonstance	Effet
P	Vue	1. Circonstance de B en A.	Très-brillante à cause de la lumière réfléchie spéculairement.
		2. Circonstance de A en B.	Obscure. (*Maximum d'obscurité.*)
P'	Vue	3. Circonstance de B en A.	Moins brillante qu'en première circonstance.
		4. Circonstance de A en B.	Plus brillante qu'en troisième circonstance. Si les sillons étaient profonds, elle pourrait être plus brillante qu'en première circonstance.

B

DEUXIÈME CAS. Plaques rayées excessivement finement dans le sens longitudinal.

Résultats semblables à ceux du premier cas.

TROISIÈME CAS. Plaques sensiblement et également rayées dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur. (Fig. 2.)



QUATRIÈME CAS. Plaques ayant un poli parfait.

Les résultats correspondent à ceux du troisième cas. Ainsi il y a identité d'effet dans la première et la troisième circonstance comme dans la deuxième et la quatrième; mais il y a cette différence, dans le quatrième cas, qu'il y a le maximum de clarté et le maximum d'obscurité qu'il est possible d'observer lors de la réflexion de la lumière par des surfaces planes.

35. Deux conséquences se déduisent des observations précédentes.

La première, c'est que, pour toutes les plaques métalliques destinées à recevoir des images délicates, le poli est une condition indispensable; mais, dans le cas où il n'est pas parfait, il faut que la surface ait été polie dans un même sens.

Les expériences dont cette conséquence est le résultat,

expliquent donc parfaitement la raison de polir les plaques daguerriennes dans un même sens.

La seconde, c'est que, pour s'assurer si une surface métallique sur laquelle on n'aperçoit pas de raies a un poli parfait, il faut l'observer le dos tourné à la lumière, afin de voir si elle conservera dans deux positions rectangulaires le même degré d'obscurité.

36. La première recherche a été de reconnaître d'une manière précise la différence existant entre la surface d'une plaque de cuivre polie dans le sens longitudinal avec le tripoli, et

1° La surface de ce même cuivre, modifiée par le contact de l'iode;

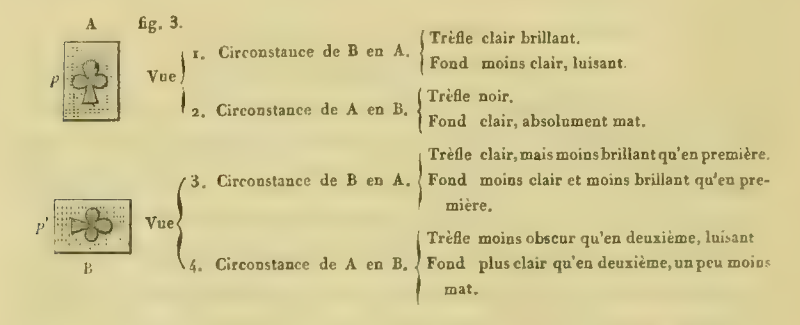
2° La surface de ce même cuivre modifiée par le contact de l'ammoniaque;

3° La surface de ce même cuivre modifiée par le contact successif de l'iode et de l'ammoniaque. Pour cela, on a appliqué sur trois plaques de cuivre un papier épais découpé en forme de trèfle; dès lors, après les opérations auxquelles chacune des plaques a été soumise, on a pu, sur la même plaque, constater les effets qu'on se proposait de définir;

4° Deux surfaces de ce même cuivre, modifiée, l'une par l'iode et l'ammoniaque, appliqués successivement, et l'autre modifiée seulement par l'ammoniaque. Pour cela, on a appliqué deux trèfles en papier épais, l'un près de l'autre, sur une plaque de cuivre; la plaque a été passée à la vapeur d'iode. On a ôté un des trèfles, et on a passé à la vapeur d'ammoniaque. Par là, on a pu comparer ensemble les modifications produites d'abord par l'iode et par l'ammoniaque appliqués successivement, et ensuite par l'ammoniaque seulement, avec le cuivre non modifié.

Plaque exposée à l'iode et trèfle réservé (n° 1). Fig. 3.

37. L'iode en vapeur se combine au cuivre. La combinaison la plus convenable pour le succès de l'opération de M. Niepce, doit être, suivant lui, mate et couleur de rouille. Mais en la conservant au milieu de l'air, et surtout au contact du soleil, la couleur se fonce en passant au bleu des ressorts de montre; et il semblerait, sous l'influence solaire, qu'il se dégagerait de l'iode, car j'ai senti l'odeur de ce corps en flairant une plaque iodée qui venait d'être frappée par le soleil. En même temps que cet effet a lieu sous l'influence de la lumière, le cuivre des clairs se ternit en passant à l'état de protoxyde (1).



(1) *Note. Expérience.* Dessin sur une plaque dont la moitié est couverte d'un papier noir. Après quatre mois, la partie couverte présente une image parfaitement distincte, quoique sensiblement altérée, et la partie découverte une image effacée; on n'aperçoit que quelques traits jaunes provenant de l'altération du cuivre iodé.

En passant la plaque au tripoli et à l'eau pure, la partie préservée de la lumière présente une légère image, tandis que tout est confus dans l'autre partie.

Il est évident que l'image du trèfle tranche sur le fond par la différence qui existe entre une surface spéculaire et une surface mate, et qu'il y a toujours moins d'opposition, entre le fond vu dans la première circonstance et le fond vu dans la deuxième, qu'il n'y en a entre le trèfle vu dans la première circonstance et le trèfle vu dans la seconde. Ajoutons que la couleur du cuivre iodé tranche encore sur la couleur du cuivre par moins de rouge. Il y a donc plusieurs causes de la production de l'image par la réserve.

38. *Observation microscopique.* Lorsqu'on examine au microscope, sur la platine tournante de George Oberhauser, la plaque numéro 1 de manière qu'elle soit vivement éclairée par le soleil dans la partie iodée et dans la partie où le cuivre est pur,

Le *cuivre iodé* présente des dessins extrêmement fins, circulaires en général; les uns sont bleus et violets, les autres oranges et jaunes, ces derniers dominant; le fond du cuivre iodé est jaunâtre.

Le *cuivre pur* présente des sillons rectilignes parallèles, couleur de cuivre, avec quelques traits circulaires et irisés.

De sorte que la différence est extrême quand on observe simultanément ces deux effets. Seulement en faisant tourner la platine, on constate parfaitement les effets optiques des sillons parallèles du cuivre pur par un *maximum de clarté* ou *d'ombre*, suivant la position où on les voit; la structure comme grenue du cuivre iodé ne présente rien de semblable.

Plaque exposée à l'ammoniaque et trèfle réservé (n° 2).

39. Le cuivre, exposé au contact de la vapeur d'ammoniaque fluor, perd de sa couleur et son brillant métallique. Que

se passe-t-il? C'est ce que j'ignore encore. Quoi qu'il en soit, l'opposition entre l'image réservée et le fond produit un effet tout à fait analogue à celui de la plaque n° 1.

1.	Circonstance de B en A.	Trèfle clair brillant. Fond moins clair, légèrement luisant.
2.	Circonstance de A en B.	Trèfle noir. Fond d'un gris rougeâtre, blanchâtre.
3.	Circonstance de B en A.	Trèfle un peu moins clair qu'en 1. Fond gris jaunâtre, moins luisant qu'en 1.
4.	Circonstance de A en B.	Trèfle obscur, mais moins qu'en 2. Fond d'un gris rougeâtre, plus blanchâtre que 2.

La production de l'image par la réserve s'explique pour cette plaque de la même manière que pour la plaque n° 1; seulement l'opposition est plus grande, parce que le cuivre ammoniaqué est plus mat encore que le cuivre iodé, et la couleur en est moins prononcée.

40. *Observation microscopique.* Par rapport au cuivre pur, le cuivre ammoniaqué présente moins de différence au microscope que le cuivre iodé; cela provient principalement de ce que les sillons se montrent encore dans le cuivre ammoniaqué.

41. L'eau mise sur le cuivre ammoniaqué paraît ne lui rien enlever de matière soluble sensible à l'hématine et à la teinture de violette, du moins en opérant comparativement avec une plaque de cuivre non modifié.

L'eau passée sur l'enduit ammoniaqué à plusieurs reprises ne paraît avoir produit aucun effet lorsque la plaque est complétement séchée.

En passant du coton humecté sur le cuivre modifié, il se colore sensiblement en vert bleuâtre, tandis qu'il ne produit

presque rien sur le cuivre non ammoniaqué. Le coton bleu verdâtre, touché par le cyano-ferrite de cyanure de potassium acidulé, se colore fortement en marron.

La solution de cyano-ferrite ne produit aucun effet sur l'enduit. Si on verse sur l'enduit une goutte d'acide acétique, d'acide phosphorique, etc., aussitôt apparaît le cuivre métallique, et le cyano-ferrite versé dans l'acide produit un précipité abondant rouge marron. L'enduit a donc été dissous. L'acide retient, en outre, de l'ammoniaque.

En passant à l'acide la moitié d'un cercle ammoniaqué produit sur une plaque carrée, lavant cette moitié, puis la passant à l'émeri; elle se confond alors avec le cuivre pur des angles de la plaque, tandis que la moitié simplement passée au tripoli mouillé d'eau pure montre toujours une image distincte du cuivre métallique. Enfin, on fait disparaître l'image au moyen de l'eau acidulée.

Plaque exposée à l'iode, puis à l'ammoniaque, trèfle réservé (n° 3).

42. Le cuivre exposé au contact de l'iode d'abord, puis à celui de la vapeur d'ammoniaque fluor, prend une couleur brune plus foncée que le n° 2, même lorsque celui-ci a été exposé à l'air et au soleil.

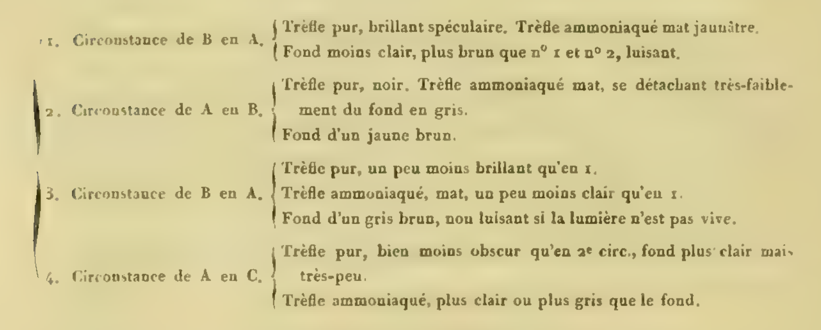
Nous ignorons ce qui se passe entre le cuivre iodé et l'ammoniaque.

1. Circonstance de B en A.	Trèfle clair, brillant, spéculaire. Fond moins clair, plus brun que n° 2 et n° 1, luisant.
2. Circonstance de A en B.	Trèfle noir. Fond d'un jaune brun.
3. Circonstance de B en A.	Trèfle clair, un peu moins brillant spéculaire qu'en 1re circ. Fond d'un gris brun, non luisant, si la lumière n'est pas vive.
4. Circonstance de A en B.	Trèfle brun, moins obscur qu'en 2e circ. Fond d'un gris jaunâtre, plus clair qu'en 2e circ.

43. *Observation microscopique.* La différence est tout à fait analogue entre le cuivre pur et le cuivre iodé puis ammoniaqué, qu'entre le cuivre pur et le cuivre simplement iodé de la plaque n° 1 ; seulement le cuivre iodé et ammoniaqué tranchant davantage par sa couleur brune, l'image est plus apparente.

Plaque exposée à l'iode avec deux trèfles réservés, exposée ensuite à l'ammoniaque avec un seul trèfle réservé (n° 4).

44. Cette plaque représente plus que les effets obtenus par le procédé de M. Niepce, puisque le trèfle réservé, que je nommerai trèfle *pur*, permet de comparer la surface du cuivre non modifiée avec la surface du cuivre modifiée seulement par l'ammoniaque, laquelle surface présente les clairs, et que je nommerai trèfle *ammoniaqué*.



1. Circonstance de B en A.	Trèfle pur, brillant spéculaire. Trèfle ammoniaqué mat jaunâtre. Fond moins clair, plus brun que n° 1 et n° 2, luisant.
2. Circonstance de A en B.	Trèfle pur, noir. Trèfle ammoniaqué mat, se détachant très-faiblement du fond en gris. Fond d'un jaune brun.
3. Circonstance de B en A.	Trèfle pur, un peu moins brillant qu'en 1. Trèfle ammoniaqué, mat, un peu moins clair qu'en 1. Fond d'un gris brun, non luisant si la lumière n'est pas vive.
4. Circonstance de A en C.	Trèfle pur, bien moins obscur qu'en 2e circ., fond plus clair mais très-peu. Trèfle ammoniaqué, plus clair ou plus gris que le fond.

Ainsi, il y a cette différence essentielle, que dans la seconde, et surtout la quatrième circonstance, le trèfle ammoniaqué paraît plus clair que le fond, tandis que le trèfle pur paraît plus obscur ; mais dans la quatrième la différence est très-faible.

45. Un point bien remarquable, qu'il s'agit d'examiner, c'est l'intensité de la résistance que le cuivre modifié par le contact de l'iode ou de l'ammoniaque, et par le contact successif de l'iode et de l'ammoniaque, présente lorsqu'on soumet le métal au frottement d'un flocon de coton imprégné d'eau pure et de tripoli.

Plaque n° 1.

46. Lorsqu'on passe au tripoli une plaque n° 1 dans le sens longitudinal, aussitôt qu'elle vient d'éprouver l'action de la vapeur d'iode, la modification disparaît, et le cuivre soumis à l'action de la vapeur ammoniacale présente une surface homogène.

La modification que le cuivre vient d'éprouver de la part de l'iode n'a donc pas de résistance au frottement du tripoli humide.

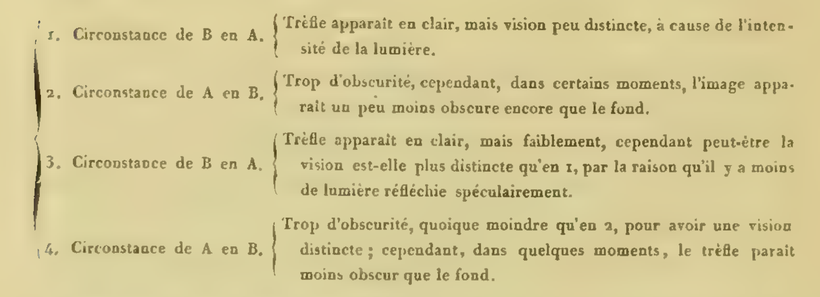
Mais il en est autrement lorsque la plaque, après avoir été soumise au contact de la vapeur d'iode, est abandonnée à elle-même pendant 48 heures dans un lieu éclairé. Si le dessin a perdu de sa netteté, cependant en passant la plaque au tripoli dans le sens longitudinal, l'image du trèfle est conservée, quoique le mat du fond ait disparu, et que celui-ci ressemble au cuivre pur.

Si on passe de nouveau au tripoli la plaque dont je parle, la surface en paraît homogène; cependant, en la regardant sous certaines inclinaisons dans une chambre à parois noires, on peut apercevoir le trèfle. Après avoir fait disparaître tout vestige d'image au moyen du tripoli, on parvient souvent à la faire reparaître en soumettant la plaque à la vapeur de l'ammoniaque. J'ai eu l'occasion de constater par l'odorat le dégagement de l'iode dans cette circonstance.

Enfin, on peut, au moyen d'un nouveau passage au tripoli, faire disparaître tout vestige d'image.

Plaque n° 2.

47. La plaque n° 2, passée au tripoli, a présenté les effets suivants :



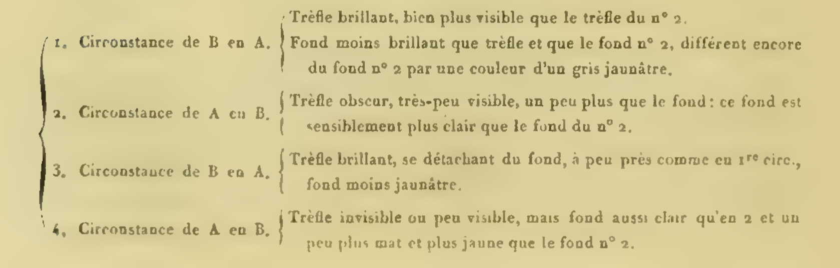
1. Circonstance de B en A.	Trèfle apparaît en clair, mais vision peu distincte, à cause de l'intensité de la lumière.
2. Circonstance de A en B.	Trop d'obscurité, cependant, dans certains moments, l'image apparaît un peu moins obscure encore que le fond.
3. Circonstance de B en A.	Trèfle apparaît en clair, mais faiblement, cependant peut-être la vision est-elle plus distincte qu'en 1, par la raison qu'il y a moins de lumière réfléchie spéculairement.
4. Circonstance de A en B.	Trop d'obscurité, quoique moindre qu'en 2, pour avoir une vision distincte ; cependant, dans quelques moments, le trèfle paraît moins obscur que le fond.

En définitive, dans les plaques n° 2, dont le trèfle a été réservé, le fond, malgré le passage au tripoli, a toujours paru plus mat que la partie réservée.

Dans le cas où la plaque n'aurait été exposée que quelques minutes à la vapeur de l'ammoniaque fluor froide, l'image disparaîtrait par le frottement du tripoli, et il pourrait arriver qu'une nouvelle exposition à l'ammoniaque le fît reparaître.

Plaque n° 3.

48. Les résultats sont analogues aux précédents.



1. Circonstance de B en A.	Trèfle brillant, bien plus visible que le trèfle du n° 2. Fond moins brillant que trèfle et que le fond n° 2, différent encore du fond n° 2 par une couleur d'un gris jaunâtre.
2. Circonstance de A en B.	Trèfle obscur, très-peu visible, un peu plus que le fond : ce fond est sensiblement plus clair que le fond du n° 2.
3. Circonstance de B en A.	Trèfle brillant, se détachant du fond, à peu près comme en 1re circ., fond moins jaunâtre.
4. Circonstance de A en B.	Trèfle invisible ou peu visible, mais fond aussi clair qu'en 2 et un peu plus mat et plus jaune que le fond n° 2.

Plaque n° 4.

49.

1. Circonstance de B en A.	Trèfle pur et trèfle ammoniaqué, se détachant très-faiblement en clair; le trèfle pur est un peu plus apparent.
2. Circonstance de A en B.	Trèfles très-peu visibles, surtout le trèfle ammoniaqué, à cause de l'obscurité.
3. Circonstance de B en A.	Apparence à peu près analogue à 1, sauf que les trèfles sont un peu plus apparents.
4. Circonstance de A en B.	Plus de clarté qu'en 2, mais trèfles invisibles ou peu visibles.

Lorsque le trèfle réservé lors du passage à l'iode a été découvert pendant l'exposition à l'ammoniaque, il y a moins d'opposition entre le trèfle et le fond, qu'il y en a lorsque le trèfle a été préservé du contact de l'ammoniaque, ainsi que cela a eu lieu pour le n° 3.

50. Lorsqu'on examine au microscope, soit à la lumière diffuse, soit au soleil, les plaques n° 1, n° 2 et n° 3, passées au tripoli, on n'aperçoit pas de différence sensible entre le cuivre pur et le cuivre qui a été simplement iodé ou ammoniaqué, ou successivement iodé et ammoniaqué.

51. Justifions maintenant ce que j'ai dit de l'application de la théorie des effets optiques des étoffes de soie à l'explication des effets optiques des plaques de cuivre présentant des images produites par le procédé de M. Niepce de Saint-Victor.

52. L'opposition la plus grande que l'on puisse faire naître dans une étoffe monochrome, est d'opposer le satin par la chaîne au satin par la trame, par la raison que lorsqu'un des deux apparaît le plus brillant, en vertu de la réflexion spéculaire dont il est doué, l'autre réfléchit la lumière spécu-

laire dans un sens où elle n'arrive pas à l'œil du spectateur.

On obtiendrait un effet correspondant à celui-ci, en opposant sur une plaque de cuivre, par exemple, une image à raies parallèles extrêmement fines à un fond également rayé, mais dans un sens perpendiculaire aux raies de l'image. Cet effet n'est pas celui des images de M. Niepce de Saint-Victor.

53. On peut produire des effets bien sensibles sur des étoffes de soie, quoiqu'ils ne le soient pas autant que ceux dont je viens de parler, en opposant sur fond de satin par la chaîne des images dont l'armure se rapporte au taffetas. En effet, supposons l'opposition de ces deux tissus dans une même étoffe, voici ce qu'on remarquera : en regardant l'étoffe de manière à voir le satin à son *minimum de clarté* dans la deuxième circonstance, le taffetas sera vu éclairé, parce que la trame qui le constitue apparaîtra avec le *maximum d'éclat* dont elle est susceptible; mais par la raison que cette trame est mêlée de chaîne, et que dans le taffetas l'effet de la chaîne domine sur celui de la trame, toutes choses égales d'ailleurs, le contraste de l'image taffetas avec le fond satin sera, dans la circonstance dont nous parlons, moindre que si le contraste eût résulté de l'opposition d'un satin par la trame au satin par la chaîne formant le fond de l'image.

54. Je vais appliquer cette théorie aux images de M. Niepce telles que nous en avons étudié les effets sur les plaques n° 1, n° 2, n° 3, en distinguant le cas où elles n'ont pas été passées au tripoli du cas où elles l'ont été.

PREMIER CAS. Plaques n°s 1, 2 et 3, non passées au tripoli.

55. La grande opposition existant entre la surface du cuivre poli dans un même sens d'une part, et d'une autre part, celle du cuivre iodé ou ammoniaqué, ou iodé d'abord et ammoniaqué ensuite, que l'on observe si bien au microscope, indépendamment de toute couleur, démontre parfaitement que la première surface avec les sillons fins et parallèles, réfléchit la lumière à la manière du satin, tandis que la seconde, plus ou moins grenue, la réfléchit à la manière du taffetas.

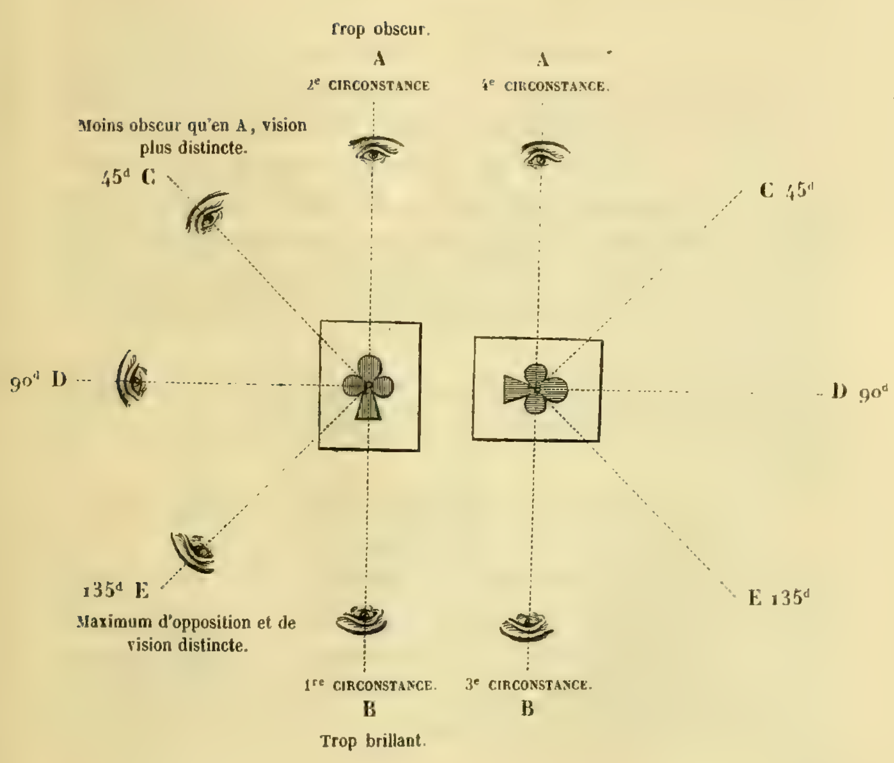
DEUXIÈME CAS. Plaques n°s 1, 2 et 3, passées au tripoli.

56. L'opposition des images de M. Niepce de Saint-Victor est bien plus faible après le passage des plaques au tripoli qu'elle n'était auparavant, par la double raison que l'opposition de la couleur entre les deux parties de cuivre a diminué, et que l'action du tripoli a sillonné la surface de cuivre que les réactifs avaient rendue grenue. Dès lors on conçoit parfaitement la raison des effets suivants :

La vision dans la première et même la troisième circonstance est peu distincte, à cause du vif éclat de la lumière réfléchie; elle est peu distincte encore dans la deuxième circonstance, parce qu'alors peu de lumière arrive à l'œil du spectateur. Il résulte de cet état de choses, qu'il existe des positions intermédiaires entre A et B, fig. 4, où la vision des images est plus distincte qu'elle ne l'est en celles-ci. On pourra aisément s'en convaincre en se plaçant successivement en C

et en C, c'est-à-dire, dans des directions telles, que CP fait avec PA un angle de 45°, et EP avec PA un angle de 135°. Effectivement, en C la plaque est moins obscure qu'en A, et la vision du trèfle est plus distincte; en E, où la lumière réfléchie spéculairement est moindre qu'en B et plus grande qu'en C, l'opposition du trèfle et du fond étant portée au maximum, l'image apparaît de la manière la plus distincte; enfin, en D, où l'angle DPA est de 45°, la vision est moins distincte qu'en C et en E.

Fig. 4.


Trop obscur.
A
2e CIRCONSTANCE
A
4e CIRCONSTANCE.
Moins obscur qu'en A, vision plus distincte.
45d C
C 45d
90d D
D 90d
135d E
E 135d
Maximum d'opposition et de vision distincte.
1re CIRCONSTANCE.
B
3e CIRCONSTANCE.
B
Trop brillant.

57. Reprenons maintenant le procédé de M. Niepce, pour en expliquer les effets, conformément aux actions chimiques et aux principes de la réflexion de la lumière que nous venons de rappeler.

Lorsqu'on a appliqué un dessin iodé sur une plaque de cuivre, l'iode quitte le papier pour le métal; l'iodure de cuivre reproduit les traits et les ombres du dessin, et le cuivre non iodé les clairs.

L'action de l'iode est donc la même que dans l'expérience précédente, où une plaque de cuivre avec un trèfle réservé a été exposée à la vapeur d'iode. Les traits sont parfaitement distincts et continus; mais l'iodure de cuivre s'altérant à l'air et à la lumière, et la surface du cuivre y perdant son brillant métallique, l'image n'est pas dans une condition satisfaisante de conservation. Si on passait la plaque au tripoli legèrement, l'image serait faible; et en la frottant beaucoup, elle disparaîtrait.

58. Lorsqu'on vient à exposer à la vapeur de l'ammoniaque la plaque de cuivre iodée, la vapeur agit, comme je l'ai dit,

1° Sur les clairs, en abaissant beaucoup la couleur propre au métal, et en lui ôtant tout brillant spéculaire;

2° Sur le cuivre iodé, en en fonçant la couleur. Ce résultat, pour être obtenu, ne demande que deux ou trois minutes de contact du métal avec l'ammoniaque. L'iodure éprouve une modification dans sa couleur et dans sa composition; mais, comme je l'ai fait observer, les traits ne sont pas purs.

59. Si on passe la plaque au tripoli, le cuivre pur ammoniaqué conserve son gris blanchâtre et reste mat, tandis

que le cuivre iodé devient brillant comme le cuivre pur. Or, comme le premier est dénué de brillant spéculaire et qu'il est blanchâtre, il n'est point étonnant qu'il fasse les clairs du dessin ; tandis que le cuivre iodé, qui a repris toute l'apparence du cuivre pur, produit les ombres du dessin lorsque la lumière spéculaire qu'il réfléchit ne peut arriver à l'œil du spectateur; et c'est alors que la vision de l'image est la plus distincte.

L'image de M. Niepce est donc alors tout à fait analogue aux images photographiques sur métal, où les ombres sont produites par le métal doué du poli spéculaire.

60. L'image que présente la plaque de cuivre, après le contact de l'iode et celui de l'ammoniaque, et après avoir été polie, est fort différente de l'image produite simplement par l'iode.

Celle-ci est beaucoup plus perceptible, et l'est dans bien plus de positions que la première; et d'un autre côté, les clairs et les ombres rappellent plutôt la peinture, c'est-à-dire que les traits ont disparu de plus en plus depuis l'impression de la gravure iodée, jusqu'au passage au tripoli de la plaque iodée d'abord et ammoniaquée ensuite.

61. Puisque les clairs de la plaque simplement iodée sont le cuivre nu, et que les ombres de la plaque iodée, ammoniaquée et polie sont, sinon le cuivre absolument pur, du moins du cuivre bien moins modifié que le cuivre ammoniaqué, il doit nécessairement y avoir des positions identiques pour les deux dessins, où les clairs et les ombres apparaîtront d'une manière inverse. C'est en effet ce que l'expérience confirme parfaitement, en regardant convenablement une plaque de cuivre, dont chaque moitié présente le même dessin obtenu

par les deux procédés dont nous comparons les résultats. Pour cela, on se place dans l'embrasure d'une fenêtre; la plaque est tenue d'abord verticalement, de manière que le plan idéal où elle se trouve fasse un angle dièdre de 135° avec une des vitres, puis on la regarde dans le sens de la lumière incidente et non dans celui de la lumière réfléchie, en l'inclinant très-légèrement vers le ciel. Je mets sous les yeux de l'Académie une plaque de cuivre, sur les deux moitiés de laquelle on a imprimé une même gravure passée à l'iode. La moitié qui est à la droite du spectateur présente le dessin simplement iodé; la moitié qui est à sa gauche, après avoir reçu l'iode de la gravure, a été exposée à l'ammoniaque, puis passée au tripoli. C'est la preuve expérimentale de ce que j'ai avancé plus haut (30). On voit, d'après cela, combien il est nécessaire, pour s'énoncer avec précision lorsqu'il s'agit de décrire des images analogues à celles dont je parle, de définir les positions où on les observe, quand il s'agit de les qualifier d'*inverses* ou de *directes*, ou, ce qui est la même chose, de *négatives* ou de *positives*.

RÉFLEXIONS.

62. Un fait, à mon sens bien remarquable, après la cémentation du métal par la vapeur d'iode, la vapeur d'ammoniaque, etc., cémentation en vertu de laquelle le poli donné jusqu'à une certaine profondeur n'efface pas le dessin, c'est le fait que, le poli ayant été poussé plus loin, mais seulement ce qui est suffisant pour faire disparaître l'image sous toutes les inclinaisons, cette image redevient sensible par l'exposition du métal à une vapeur, celle de l'ammoniaque, par exemple.

En effet, supposons le trèfle réservé dont le fond a été passé à l'iode, puis effacé avec le tripoli jusqu'à la disparition de l'image. Comment la surface du cuivre en apparence homogène, exposée à l'ammoniaque, présente-t-elle un trèfle plus blanc que le fond? L'effet n'est-il pas remarquable, soit qu'il soit produit par l'iode resté dans le cuivre, lequel empêche le métal de blanchir par l'ammoniaque, comme cela a lieu pour le cuivre pur, soit, ce qui est bien moins probable, que, tout l'iode ayant été enlevé par le frottement du tripoli à l'état d'iodure, les particules de cuivre situées au-dessous de la couche iodée aient subi un arrangement tel, qu'en absorbant la vapeur d'ammoniaque elles ne produisent pas un composé aussi blanc que les particules du cuivre pur.

Enfin, fait bien remarquable encore : c'est que la modification ait lieu dans le sens perpendiculaire à la surface de la plaque soumise à la vapeur.

Action de vapeurs autres que celle de l'iode sur les surfaces métalliques.

63. M. Niepce de Saint-Victor a constaté que le chlore gazeux et sec, dans lequel on plonge un papier imprimé, se fixe sur les noirs. Il en est de même de la vapeur qui se dégage de l'eau de chlore ; mais le papier exposé à cette vapeur n'imprime pas d'image sensible sur le cuivre ; il faut l'exposer à la vapeur de l'ammoniaque fluor pour la faire apparaître. Dans tous les cas, les effets du chlore sont bien plus faibles que ceux de l'iode.

Un imprimé plongé dans l'eau de chlore, appliqué contre un papier de tournesol bleu, reproduit l'impression en lettres

rouges, parce qu'il s'est produit vraisemblablement de l'acide chlorhydrique.

M. Niepce, en chauffant de l'hypochlorite de chaux à sec dans une capsule de porcelaine, a observé *quelquefois* que les premières vapeurs dégagées donnent au papier imprimé la propriété de reproduire les lettres en rouge, et que les vapeurs dégagées plus tard, étant absorbées par le papier blanc, reproduisent les lettres en bleu sur fond blanc, le chlore ayant décoloré le tournesol.

64. Le brôme n'a pas paru à M. Niepce avoir d'action bien sensible pour se porter sur les noirs d'une gravure.

65. Une gravure exposée 5 à 10 minutes à la vapeur du soufre contenu dans une capsule de porcelaine chauffée par une lampe à alcool, de manière à produire une vapeur qui ne contient pas d'acide sulfureux sensible à l'odorat et au papier de tournesol, acquiert la propriété d'imprimer une image parfaitement nette sur une plaque de cuivre, contre laquelle on la presse pendant 10 minutes. La vapeur qui a été absorbée par les noirs forme les ombres de l'image, et le cuivre métallique en fait les clairs.

66. La vapeur de l'orpiment produit le même effet.

67. Le résultat est encore le même en employant le bisulfure de fer; mais l'opération est plus difficile.

68. Une gravure plongée dans un flacon de gaz sulfhydrique absorbe ce gaz par les noirs, et lorsqu'on la presse contre une plaque de cuivre, l'image est reproduite en sulfure.

69. Lorsqu'on expose une gravure à la vapeur de l'acide azotique d'une densité de 1,34 pendant cinq minutes environ, et qu'on l'applique ensuite contre une plaque de cuivre, ce ne sont pas les noirs, mais les blancs qui cèdent au métal la

vapeur qu'ils ont absorbée. Le résultat de l'impression sur la plaque de cuivre est une matière blanchâtre et mate correspondant aux clairs de l'image, tandis que le cuivre métallique correspond aux ombres. La preuve que les blancs ont absorbé la vapeur acide, c'est qu'en appliquant la gravure sur un papier de tournesol, le dessin est produit en bleu sur un fond rouge, si l'exposition de la gravure à la vapeur acide a été faite convenablement.

Cette expérience ne prouve pas que les noirs n'ont pas absorbé la vapeur acide; car les phénomènes seraient encore les mêmes, conformément à ce que j'ai dit (28, 4°), dans le cas où les noirs, attirant la vapeur plus fortement que ne le font les blancs, la conserveraient, tandis que les blancs la céderaient à d'autres corps. L'existence d'une attraction élective de la vapeur acide, relativement à une série de corps, n'en existerait pas moins.

70. Enfin, j'ajouterai que les noirs des plumes de pie ou de vanneau, qui absorbent l'iode et qui le cèdent au cuivre, ne prennent pas l'acide azotique; car ces plumes, plongées dans cet acide, impriment au contraire leurs parties blanches sur le métal.

71. Si on met quelques grammes de phosphore dans une capsule de porcelaine à une température de 18 degrés environ, et qu'on expose une gravure à la vapeur qui s'en exhale pendant 5 ou 10 minutes, la gravure, appliquée contre une plaque de cuivre, n'y imprime pas d'image sensible; mais celle-ci se manifeste par l'exposition de la plaque à la vapeur de l'ammoniaque fluor, et l'aspect en est des plus agréables. Les clairs produits par le cuivre ammoniaqué sont d'un blanc vaporeux remarquable. Quant aux ombres, elles seraient,

suivant M. Niepce, le produit de la vapeur phosphorée fixée au cuivre. L'image ainsi produite n'est pas susceptible de résister à l'action du tripoli.

72. Il paraît bien, d'après cette expérience, que les noirs d'une gravure exposée à la vapeur du phosphore brûlant lentement, absorbent une matière capable de se porter sur le cuivre et de s'opposer à ce qu'il devienne blanc par l'ammoniaque. Mais quelle est cette vapeur? Elle ne paraît pas être acide; du moins, la gravure appliquée contre un papier bleu de tournesol ne le rougit pas.

73. Il serait bien curieux de rechercher si la matière active de la vapeur de phosphore est différente réellement de l'acide phosphatique. S'il en était ainsi, l'étude des images de M. Niepce de Saint-Victor conduirait, dans certains cas, à distinguer des matières différentes, où jusqu'ici on n'a admis qu'une espèce de corps. Et, à ce sujet, je rappellerai combien nous sommes peu avancés dans la connaissance des odeurs de plusieurs matières métalliques, telles que celles du cuivre, du fer, de l'étain, et de plusieurs de leurs composés.

74. M. Niepce de Saint-Victor a produit avec l'iode des figures sur le fer, le plomb, l'étain, le laiton et l'argent; mais avec ce dernier métal, il a substitué l'exposition à la vapeur du mercure à l'exposition à la vapeur de l'ammoniaque fluor.

75. Il y a, sans doute, de l'analogie entre certaines images de Moser et certaines images reproduites par les procédés de M. Niepce; mais il me semble très-difficile de la définir, en voyant la diversité des procédés indiqués par le physicien allemand, et surtout le manque de développement d'une analyse précise des effets de chaque sorte de procédé, et si

l'on considère en outre l'intention bien évidente où il est de ramener en définitive les phénomènes qu'il décrit à des actions physiques et non à des actions chimiques. Toutes les expériences de M. Niepce, bien plus circonscrites à la vérité, sont au contraire essentiellement fondées sur des effets de contact, produits entre des corps placés dans des circonstances qui relèvent de la chimie. Et en cela même elles viennent à l'appui de l'opinion de M. Fizeau, qui, rejetant la théorie des *radiations d'une lumière latente*, pour expliquer la production des images de Moser, l'attribue à des émanations de vapeurs dont la matière est déposée à la surface du corps qui donne son image à la surface d'un autre corps placé vis-à-vis du premier.

TROISIÈME CATÉGORIE D'EXPÉRIENCES.

Reproduction des images du foyer d'une chambre obscure, au moyen d'un composé d'argent, appliqué sur un enduit d'amidon ou d'albumine au lieu de l'être sur du papier.

76. Si les images produites sur papier au moyen d'un composé d'argent sensible au contact de la lumière, laissent tant à désirer, l'inégalité de la surface où apparaît l'image en est la cause, puisqu'il y a impossibilité que les détails s'y peignent avec fidélité. Sans doute, cet inconvénient a fait préférer à son usage en photographie les plaques métalliques, malgré leur cherté, leur poids et l'effet de la réflexion spéculaire. Dans cet état de choses, M. Niepce de Saint-Victor a eu l'heureuse idée d'enduire des plaques de verre

transparent ou dépoli d'une couche mince d'amidon cuit ou d'albumine de blanc d'œuf, et de s'en servir au lieu de papier. Les épreuves *négatives,* ou, pour parler plus correctement, *inverses*, qu'il a obtenues, ne permettent pas de douter qu'il n'ait atteint le but qu'il s'était proposé.

Il emploie 5 parties d'amidon délayées parfaitement dans 100 parties d'eau, auxquelles il ajoute 5 parties d'une solution renfermant 0,25 d'iodure de potassium; c'est cet amidon cuit qu'il coule sur des plaques de verre où il sèche rapidement, soit au soleil, soit à l'étuve.

Ou bien il ajoute l'iodure de potassium à du blanc d'œuf frais parfaitement limpide, et ce liquide est coulé sur les plaques de verre.

Ces plaques sont ensuite imprégnées de la liqueur d'*acéto-nitrate d'argent* de M. Blanquart-Évrard, puis soumises à l'action de la lumière dans la chambre noire, conformément au procédé décrit par cet auteur.

L'Académie prendra une idée du perfectionnement apporté dans la photographie par les manipulations précédentes, en voyant les épreuves inverses obtenues par M. Niepce de Saint-Victor.

On a tout lieu d'espérer que, dans beaucoup de cas, il sera possible de reporter l'image sur bois ou sur pierre lithographique, sans qu'il soit nécessaire de la reproduire d'abord par le dessin pour la graver ensuite sur bois, ou en tirer des épreuves au moyen de la lithographie.

RÉSUMÉ.

Les recherches dans lesquelles M. Niepce de Saint-Victor

a fait preuve de tant de persévérance et de talent, me paraissent devoir fixer l'attention des savants sous les rapports suivants :

1° Sous le rapport de l'attraction élective avec laquelle une même vapeur peut être fixée par différents corps.

Ainsi, l'iode a plus de tendance à se fixer à plusieurs matières noires qu'au papier blanc, soit qu'il agisse à l'état de vapeur, soit qu'il agisse à l'état de solution liquide. Dans le premier cas, les noirs agissent à l'instar des solides poreux condensant des vapeurs ; dans le second, comme des mordants fixant des matières colorantes à des tissus. D'un autre côté, les matières noires cèdent leur iode à l'amidon, et celui-ci le cède enfin à des métaux ;

2° Sous le rapport de l'attraction élective de certaines vapeurs qui se fixent au papier blanc de préférence aux parties noires d'une encre grasse, ainsi que cela arrive à la vapeur de l'acide azotique ;

3° Sous le rapport de la rapidité avec laquelle peuvent réagir une vapeur et des corps solides aussi compactes que le sont les métaux, comme on l'observe entre la vapeur de l'ammoniaque fluor et le cuivre, par exemple ;

4° Sous le rapport de la distance à laquelle une vapeur qui se dégage de la matière d'une image est susceptible de reproduire cette image sur un plan où la vapeur vient à se condenser ;

5° Sous le rapport de l'influence très-diverse que différents solides pourraient exercer sur l'économie animale, après avoir été exposés à une même vapeur.

Malgré l'étendue des détails précédents, il me reste, pour remplir la tâche que je me suis prescrite, à dire quelques mots de l'auteur des recherches dont je viens de parler. Si l'Académie est toujours disposée à accorder son approbation et ses encouragements à ceux qui lui communiquent des faits nouveaux, cette disposition ne doit-elle pas se manifester surtout lorsque ces faits lui sont présentés par une personne qui, étrangère à la classe des savants, est engagée dans une carrière où tout le temps de celui qui la suit appartient à l'État? Telle est la position de M. Niepce de Saint-Victor, digne à tous égards de porter le nom de son oncle, Joseph-Nicéphore Niepce, à qui revient l'honneur d'avoir fixé, dès 1826, les images de la chambre noire sur un métal enduit d'une matière sensible à la lumière, le bitume de Judée préalablement dissous dans l'huile de lavande. M. Niepce de Saint-Victor, à sa sortie du collége, s'engagea, et entra comme simple cavalier à l'école de Saumur. Deux ans après, il passa maréchal des logis dans le 1er régiment de dragons, où il devint successivement sous-lieutenant et lieutenant, sans cesser d'y remplir les fonctions d'instructeur. Il y a cinq ans, l'administration de l'armée ayant manifesté l'intention de changer en couleur aurore la couleur distinctive *rose* des premiers régiments de cavalerie, à la condition cependant de ne pas défaire les uniformes déjà confectionnés, on apprit au ministère de la guerre qu'un lieutenant de dragons en garnison à Montauban disait avoir trouvé le moyen de remplir cette condition difficile. Ce lieutenant était M. Niepce de Saint-Victor. Mandé à Paris pour répéter son procédé devant une commission nommée par le ministre de la guerre, le résultat en fut tel qu'il l'avait annoncé; un peu plus tard, l'exécution

qu'on en fit en grand dans plusieurs régiments eut un égal succès. Il faut savoir que jamais M. Niepce, avant cette époque, ne s'était occupé de teinture.

De retour à Montauban, M. Niepce commença à se livrer aux recherches dont l'Académie connaît maintenant les résultats. Convaincu que Paris lui offrirait plus de ressources pour les continuer que les garnisons de province, il demanda son admission dans la garde municipale, quoiqu'il sût bien qu'en changeant d'arme il perdrait de ses chances à l'avancement. En considération de ses bons services, on fit droit à sa demande. C'est depuis son séjour à Paris que j'ai pu apprécier ce que l'intelligence de M. Niepce a de qualités rares et distinguées, par les confidences qu'il m'a faites de ses travaux ; le plus grand nombre ont été exécutés au quartier de cavalerie du faubourg Saint-Martin, dans la salle de police, qui, étant pour ainsi dire constamment libre, à cause de la sévérité du choix des hommes appelés à composer la garde municipale, a pu recevoir ainsi la nouvelle destination que M. Niepce lui a donnée.

Ces détails sur un homme qui pendant vingt-trois ans a constamment satisfait à toutes les exigences de la profession militaire, sans jamais reculer devant aucun sacrifice que son goût des recherches scientifiques lui a imposé, ne paraîtront pas déplacés, et j'ose espérer que l'Académie accordera un témoignage d'estime à M. Niepce de Saint-Victor, qui honore doublement le titre d'officier français.

MÉMOIRE

SUR L'ANALOGIE DE COMPOSITION ET SUR QUELQUES POINTS

DE L'ORGANISATION

DES ÉCHINODERMES;

PAR M. DUVERNOY.

Lu, pour la Ire Partie, dans la séance du 17 janvier 1848.

INTRODUCTION.

Les sciences d'observation, et celles des corps organisés, en particulier, se composent :

1° Des faits observés;

2° De leur interprétation, qui peut être plus ou moins sujette à discussion;

3° De leur généralisation, qui doit être l'expression sommaire de leur existence, quant à leur nombre, et le résumé ou la déduction logique de leur interprétation.

Le mémoire actuel comprend, si je ne me trompe, ces trois sortes de notions scientifiques.

Je l'ai écrit à l'occasion de la dernière lettre de notre collègue M. Agassiz, que j'ai eu l'honneur de communiquer

à l'Académie dans sa séance du 7 novembre dernier, et du *Résumé d'un travail d'ensemble sur l'organisation*, *la classification et le développement progressif des Échinodermes dans la série des terrains*, que M. Agassiz a fait connaître lui-même à l'Académie, dans sa séance du 10 août 1846.

Presque immédiatement après avoir pris connaissance de cette dernière communication, dans le *Compte rendu* de cette séance, que je recevais à cent lieues de Paris, j'adressai à notre collègue quelques observations écrites :

1° *Sur les rapports qu'il annonçait avoir découverts entre le test des Oursins et les parties tégumentaires des Astéries ;*

2° *Sur la tendance à la composition bilatérale* qu'il avait cru reconnaître dans un certain nombre d'*Échinodermes*, et plus particulièrement parmi les *Oursins* et les *Holothuries*, tout en convenant de leur forme ou de leur composition rayonnée.

Ma lettre était du 4 septembre 1846.

J'espérais qu'il en serait fait une mention quelconque dans la publication ultérieure de ce *Résumé*, qui a paru plus tard dans les *Annales des sciences naturelles* (numéros de novembre et décembre 1846).

Le silence complet gardé à son sujet me faisait attendre le moment favorable pour rétablir, historiquement parlant, la succession des faits découverts, et des idées qui ont pu faire faire quelques progrès à la science, dans cette direction. La lettre de notre collègue m'en fournissant l'occasion, je n'ai pu m'empêcher de la saisir.

Ma communication ne sera pas d'ailleurs simplement historique; elle comprendra quelques études nouvelles qui serviront peut-être à étendre ou à mieux analyser des faits déjà connus.

PREMIÈRE PARTIE.

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

Il y a peu de temps qu'on avait généralement l'habitude de considérer les parties dures des *Oursins* comme une enveloppe extérieure, comme un *test*, comparable à celui des Crustacés, ou comme une *coquille*. Si les naturalistes français se servent encore de la première dénomination, les naturalistes allemands emploient de préférence la seconde.

Ni l'une ni l'autre ne sont exactes.

Le *test* est proprement une production dure, extérieure et superficielle du derme, qui peut s'en détacher par la mue. La coquille est de même une production extérieure du derme; elle est recouverte par une sorte d'épiderme.

Les parties dures des *Oursins* sont, au contraire, revètues extérieurement par la peau, et intérieurement par une sorte de péritoine qui tapisse la cavité viscérale, que ces parties dures interceptent.

Mon vieil ami, le célèbre *Tiedemann*, auteur d'une *Monographie anatomique* sur les *Holothuries*, les *Astéries* et les *Oursins*, que l'Académie a couronnée en 1812, avait bien reconnu ces deux membranes (1).

(1) Une peau blanchâtre recouvre toute la partie extérieure de la coquille, à l'exception des tubercules articulaires arrondis. Elle sert consé-

Il a vu, de plus, que les *Oursins* ont vingt séries de pièces calcaires, réunies par de véritables sutures; que le nombre de ces pièces, par série, augmente avec l'âge; et que cette augmentation en nombre, jointe à l'accroissement des pièces anciennes en étendue, explique l'accroissement ou le développement, en tous sens, dont les Oursins sont susceptibles, avec leur forme sphérique.

Mais l'illustre correspondant de l'Académie n'avait pas tiré de ces faits anatomiques, qui avaient besoin d'ailleurs d'une analyse plus complète, les conséquences que l'on pouvait en déduire sur l'analogie de composition du squelette intérieur des *Astéries* et des *Oursins*.

M. de Blainville, déjà en 1825, dans l'article *Oursin* du Dictionnaire des sciences naturelles (1), reconnaît, comme M. Tiedemann, que « l'*enveloppe extérieure* qui détermine « la forme d'un Oursin est formée, dans la plus grande par- « tie de son étendue, par *deux membranes*, l'une externe, « plus épaisse, l'autre interne, si mince que le nom de pelli- « cule lui convient parfaitement, et entre lesquelles existe « un *test* assez épais, solide, parfaitement calcaire, composé

---

quemment à assujettir les piquants. Cette peau est irritable dans l'état de vie : les piquants se redressent quand elle se contracte; ils s'inclinent plus ou moins vers la coquille dans son état de relâchement. — Puisqu'il n'y a pas de *muscles particuliers* qui redressent les piquants ou les fléchissent, on peut comparer la peau irritable contractile qui redresse ou abaisse les piquants, et les assujettit à la coquille, aux muscles cutanés des Mammifères qui redressent les cheveux ou les poils. (Page 88 de cette Monographie.)

(1) T. 37, p. 61-64.

« d'un très-grand nombre de petites pièces polygones, etc. »

Ces deux auteurs célèbres s'accordent encore sur la cause qui met les baguettes en mouvement.

« Ces organes, dit M. de Blainville, articulés en genou sur « les mamelons du test, sont mis en mouvement dans tous les « sens, par la *lame externe de l'enveloppe cutanée,* qui s'at- « tache à la circonférence du bourrelet de leur base, et qui « m'a paru plus forte, plus évidemment musculaire, aux épi- « nes de la base de l'Oursin. Par la dessiccation, il m'a été pos- « sible d'y apercevoir des fibres musculaires distinctes, et « quelquefois même des muscles proprement dits. Il en « existe surtout pour les mouvements de l'appareil muscu- « laire. »

On trouve, à ce sujet, dans le T. II des *Mémoires* de M. Delle-Chiaje, *sur les Animaux sans vertèbres,* publié à Naples en 1825, un progrès sensible dans les termes, qui en indiquerait un dans les idées.

Les pièces qui composent l'enveloppe des *Oursins* y sont appelées *ossicules* : cet auteur nomme *périoste* la membrane qui les unit et qui remplit leurs intervalles avant leur complet durcissement; il désigne leur ensemble sous le nom de boîte osseuse (*scatola ossea*).

Toutes ces expressions sont répétées dans ses *Institutioni di anatomia e fisiologia comparata* (T. I), qui ont paru en 1832.

Dans un Prodrome d'une *Monographie des Radiaires ou des Échinodermes* (1), lu à la Société d'histoire naturelle de

---

(1) *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel*, T. I. Neuchâtel, 1835.

Neuchâtel, le 20 janvier 1834, M. Agassiz donne d'intéressants détails sur le mode d'accroissement des Oursins et sur le durcissement successif du test, à partir des pièces buccales ou anales vers le plus grand diamètre de l'animal.

Il a reconnu, comme M. Tiedemann, que les pièces du test sont moins nombreuses chez les jeunes que chez les vieux; contre ce qu'affirme M. Delle-Chiaje. Autour de l'anus, la membrane qui unit toutes les plaques et qui s'étend sur leur surface, en formant une capsule articulaire autour de la base des piquants, est plus molle, ajoute M. Agassiz, et plus spongieuse que dans la partie inférieure, où les plaques sont déjà soudées entre elles; et les piquants s'élèvent au centre, à peu près de la même manière que se forment les bois de cerfs. Ils ne deviennent mobiles qu'après avoir atteint un certain degré de développement.

Dans ce premier mémoire, M. Agassiz insiste beaucoup sur la tendance à la forme symétrique des *Spatangues*, signalée depuis longtemps par M. de Blainville.

Il entre ensuite dans les détails des analogies qu'il trouve entre les *Oursins* et les *Astéries*. Mais ces analogies ne comprennent pas la véritable détermination de leurs parties dures, et la distinction de celles-ci, du derme proprement dit. Elles ont évidemment pour but de ramener la forme rayonnée des Astéries, considérée dans l'ensemble du plan de composition de ces animaux, à la forme cylindrique des *Holothuries* ou sphérique des *Oursins*, et à conduire ensuite à l'idée de la forme de parité bilatérale que l'auteur pense avoir trouvée dans certaines *Holothuries* et dans les *Spatangues*, parmi les *Échinides*.

Cependant M. Charles Desmoulins (1) démontrait, dans un ouvrage consciencieux sur les *Échinides,* que chez tous, même chez les *Spatangues,* auxquels on n'attribue que quatre ambulacres, la même composition du test (prétendu) pouvait être constatée.

La *Notice sur quelques points de l'organisation des Euryales,* que M. Agassiz a communiquée à la même Société de Neuchâtel, le 18 janvier 1837, n'a pas avancé les questions que j'ai cherché à résoudre quelques jours plus tard, devant la Société d'histoire naturelle de Strasbourg.

Le 1er février 1837, je pris à tâche de démontrer, à cette Société, et de développer les idées dont voici l'aperçu :

« 1° La peau des *Oursins* recouvre non-seulement les séries de plaques qui composent leur prétendu test, mais elle se prolonge (au moins) sur la tête de leurs baguettes ou de leurs piquants.

« 2° Ceux-ci sont articulés par arthrodie, avec les saillies arrondies de ces plaques, et leur présentent une surface articulaire tout unie, entièrement analogue à celle des os (des membres) des Vertébrés.

« 3° Chacune de ces articulations est affermie par une capsule ligamenteuse, semblable aux capsules articulaires (des membres) des Vertébrés.

« 4° Entre la peau et cette capsule ligamenteuse, il y a de petits muscles qui s'attachent d'une part à la base de cha-

---

(1) Études *sur les Échinides*, par Charles Des Moulins ; à Bordeaux, 1835-1837, in-8°.

« que piquant, et de l'autre à la plaque qui lui fournit son « tubercule articulaire.

« 5° L'existence de ces muscles sous-cutanés, celle de la « peau qui revêt de toutes parts les parties dures; la nature « séreuse de la membrane qui tapisse intérieurement la ca- « vité formée par ces mêmes parties dures, et qui renferme « les viscères, m'ont conduit à la détermination de ces par- « ties dures et osseuses. Je les ai comparées à la partie pé- « riphérique du squelette des Tortues.

« Les *Oursins*, ai-je ajouté, auraient donc un squelette in- « térieur, mais périphérique, c'est-à-dire superficiel. Ce « squelette serait composé de plusieurs séries régulières de « vertèbres et de côtes, articulées entre elles par sutures.

« Les *Oursins* seraient, sous ce rapport, aux *Échinodermes*, « ce que les *Tortues* sont aux autres *Reptiles*.

« Cette détermination, continuai-je, des parties dures des « *Oursins* établit d'ailleurs un nouveau rapprochement très- « important entre ces animaux et les *Astéries*. Il y a long- « temps qu'on a reconnu, dans ces dernières, un squelette « intérieur. Dans les *Astéries* qui ont cinq rayons, il y a « proprement cinq colonnes vertébrales. Ces différentes co- « lonnes, dont le nombre varie dans les différentes espèces « et dans les genres de cette famille, avec celui des rayons, « sont plus ou moins libres vers leur extrémité caudale, et « soudées par leur extrémité buccale.

« Les *Astéries* (à rayons libres) sont donc les Serpents des « *Échinodermes*, mais des Serpents sans tête, à plusieurs corps « et à une seule bouche.

« Les *Holothuries*, qui ont été réunies par *G. Cuvier*, avec « beaucoup de raison, aux *Oursins* et aux *Astéries*, n'ont plus

« qu'un rudiment de ce squelette intérieur, auquel viennent « aboutir les cinq longs muscles aplatis qui doublent leur « peau; et sur lequel s'appuient les tentacules qui garnissent, « à l'extérieur, l'orifice de la cavité buccale.

« Il résulte encore de ces considérations, ai-je dit en ter- « minant, que les *Échinodermes pédicellés, qui sont de véri- « tables animaux rayonnés, pourraient être envisagés comme « composés d'animaux symétriques*, surtout dans leurs or- « ganes de relation et de génération, dont les corps sans tête « seraient réunis dans toute leur longueur (les *Oursins*, les « *Holothuries*) ou libres dans une étendue plus ou moins « grande de leur partie postérieure (les *Astéries*) (1). »

Ces idées sur la véritable détermination de la peau et du squelette des *Oursins*, comparé au squelette intérieur des *Astéries*, et au rudiment de squelette intérieur des *Holothuries*, étaient la déduction logique des faits anatomiques. Elles montraient, avec évidence, l'analogie de composition des quatre Ordres de la classe des *Échinodermes*, dans les limites que j'ai adoptées pour cette classe; elles analysaient leur forme rayonnée, en la ramenant à la forme symétrique multiple, et faisaient voir dans cette classe supérieure des *Zoophytes*, comme cela était démontré pour la classe supérieure de l'Embranchement des *Mollusques*, et pour les classes supérieures de celui des *Articulés*, des traces du plan de composition dans l'arrangement des parties dures des Vertébrés, relativement aux parties molles. Mais ce ne sont que des traces, qui n'infirment pas, à notre avis, les grandes différences qui

(1) Voir le *Journal de l'Institut* de 1837, p. 208 et 209.

existent dans le plan général d'organisation de chacun des quatre grands *Embranchements* du Règne animal, différences universellement reconnues, depuis la première révélation que la science en a reçue, en 1812, du génie de G. Cuvier.

Le 6 novembre de la même année 1837, M. Agassiz m'écrivait de Neuchâtel : « Je vous suis personnellement obligé « pour votre Notice sur les *Échinodermes*. Je l'ai lue avec « d'autant plus de plaisir, que je m'occupe moi-même, en « ce moment, d'un travail sur cette classe d'animaux. Les « recherches que vous y avez consignées sont..... mar- « quées au coin de la plus parfaite vérité. *Quant aux « principes dont vous partez, je dois vous avouer que je ne « les partage pas, non plus que les conséquences que vous en « tirez.* »

C'est qu'en effet notre collègue, au lieu d'analyser, comme je l'avais fait, la composition des *Oursins* et des *Holothuries,* pour y trouver la forme rayonnée des *Étoiles de mer,* avait cherché, dans son *Prodrome* (1), à faire la synthèse de celles-ci, pour les ramener à la forme sphérique des *Échinides*, ou cylindrique des *Holothurides*.

Dans la comparaison qu'il avait faite des plaques du prétendu test des *Oursins* avec les parties tégumentaires des *Astéries,* il n'était pas question de distinguer la peau et ses dépendances, des parties appartenant au squelette. Enfin, loin de voir la forme symétrique, dans chaque rayon d'une

---

(1) *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel*, T. I. Neuchâtel, 1835.

Astérie, ou dans les parties correspondantes d'un *Oursin* ou d'une *Holothurie*, M. Agassiz cherchait à retrouver les traces de ce qu'il appelle la forme de *parité bilatérale*, dans l'ensemble ou dans tout le corps d'une *Astérie*, d'un *Oursin* ou d'une *Holothurie*.

Il n'en fut pas de même de tous les autres naturalistes. Je trouve, entre autres, mes idées sur la composition symétrique multiple des *Étoiles de mer* adoptées dans l'un des ouvrages élémentaires qui ont été publiés pour l'enseignement des colléges royaux; il est de 1840 (1).

Quant aux faits anatomiques qui avaient servi à ces déductions théoriques, ils ont été reproduits dans tous leurs détails, quelques années plus tard, par M. Valentin, dans sa Monographie anatomique du genre *Echinus*, qui a paru en 1841 (2).

1° L'auteur y désigne la peau de ces animaux sous le nom de membrane pimentée. (Le traducteur aurait dû dire *pigmentée* ou colorée.)

Elle s'étend, dit-il, sur l'articulation du piquant et sur le piquant lui-même; elle repose immédiatement (ce sont toujours ses expressions) sur la surface des muscles.

2° Les muscles (*motores aculei*) vont de la surface articulaire d'un piquant vers le pourtour du tubercule correspondant.

---

(1) *Leçons d'histoire naturelle*, etc., par M. L. Doyère, professeur d'histoire naturelle au collége royal de Henri IV. Paris, 1840, pages 316 et 317.

(2) *Monographies anatomiques*; 1re Monographie. Neuchâtel, 1841.

3° La capsule articulaire est une membrane articulaire très-forte.

4° Il existe entre le piquant et la tête une sorte d'*arthrodie*.

J'ai dû être flatté, en lisant cette intéressante Monographie, d'y voir confirmés, par un anatomiste aussi distingué que M. Valentin, les faits principaux que j'avais annoncés quatre années auparavant.

Voici d'ailleurs, en peu de lignes, ce que cet auteur a ajouté à nos connaissances, en se plaçant, comme à son ordinaire, sous le point de vue de la structure microscopique de ces mêmes parties.

1° Il a vu que les fibres musculaires des petits muscles moteurs des piquants ont des lignes transversales distantes, et qu'on aperçoit quelquefois entre celles-ci d'autres lignes transversales, qui rappellent les fibres musculaires des Vertébrés.

2° Il a mesuré le diamètre des fibres de la capsule articulaire, et il a trouvé qu'il variait de 0,001 à 0,005 de pouce.

3° Il a vu que les plaques étaient composées de réseaux calcaires, qui ont pour base un *squelette organique d'un tissu fibreux :* ce sont ses expressions (1).

4° Il s'est assuré que les piquants sont formés de deux substances calcaires, l'une *simple* (je pense qu'il a voulu dire compacte, homogène), l'autre réticulée.

5° On n'y reconnaît pas, non plus que dans les plaques, la structure intime qui caractérise les os des Vertébrés.

---

(1) *Monogr. anat.*, p. 18, et pl. II, fig. 18 et 19.

Ils en diffèrent encore, sous le rapport de leur composition chimique, par l'absence des sels phosphoriques (1).

6° Enfin, M. Valentin a vu la peau (que son traducteur appelle toujours membrane *pimentée*) revêtir toutes les parties du test; et il n'a pu observer à sa surface, non plus que M. Forbes, l'épithélium vibratile, annoncé par M. Ehrenberg (2).

J'avais sans doute été ému à la réception de la lettre de notre collègue, M. Agassiz, du 6 novembre 1837, de ne pas avoir son assentiment sur ma manière d'envisager le plan général d'organisation des Échinodermes. Mais comme des raisonnements que je crois justes, et non l'autorité personnelle, quelque respectable qu'elle soit, peuvent seuls ébranler et changer mes convictions, je n'en avais pas moins per-

---

(1) Voici l'analyse chimique des *plaques* à l'état frais, due à M. Brunner :

Carbonate de chaux.	86,81
Sulfate de chaux.	1,38
Carbonate de magnésie. . . .	0,84
Autres sels et perte.	1,14
Substance organique	9,83
Total.	100,00

Les piquants n'en diffèrent que par une plus grande proportion de carbonate de chaux 89,40

Et par une moindre quantité de substance organique . . . 7,59

(2) On trouve en effet la phrase suivante de cet auteur célèbre dans les Archives de Müller pour 1834, p. 578 : « Tous les piquants de l'*Echinus* « *saxatilis* sont recouverts d'une peau (*Haut*) à cils vibratiles. »

sisté à enseigner, dans tous mes cours, la doctrine que j'avais adoptée à ce sujet (1).

Aussi fus-je très-agréablement surpris, à la lecture du *Résumé* déjà cité, d'y lire les doctrines actuelles de l'auteur (page 180 du tome XXIII des *Comptes rendus*) *sur l'identité de composition des Asteries et des Oursins*, et (page 201) *sur la forme rayonnée bien évidente de ceux-ci*, dont la bouche est le centre autour duquel *tous les organes sont disposés*.

Dans la lettre que j'adressai à notre collègue, aussitôt que j'eus pris connaissance de ce *Résumé*, après lui avoir exprimé combien j'étais heureux de le voir se rapprocher de mes doctrines, que je crus devoir lui rappeler, je cherchai à les lui développer, entre autres, dans le quatrième paragraphe, ainsi conçu :

« Il me semble qu'il était nécessaire, pour ne pas être « embarrassé dans la détermination du *plan de composition* « *des Échinides*, de distinguer, comme je l'ai fait (2) dans mes « cours, les divers systèmes principaux de leur organisme « singulier, soit ceux de relation ou de la sensibilité et du « mouvement, soit ceux de génération, soit ceux de nutri- « tion. »

J'ajoutai dans le cinquième paragraphe :

« 5° Cette analyse des systèmes d'organes, qui sont tous « trois rayonnés dans les *Stellérides* (nonobstant, à mon

(1) Voir entre autres l'extrait de mon cours fait au Collége de France en 1846. *Revue zoologique* du mois de février 1846.

(2) *Revue zoologique*, février 1846.

« avis, l'orifice anal), qui perdent cette forme dans le canal « alimentaire chez les *Crinoïdes* et les *Échinides;* qui n'en « montrent de traces chez les *Holothurides* que dans le sys- « tème nerveux, les longs muscles du corps, le rudiment de « squelette et les tentacules buccaux; cette analyse, dis-je, « facilitera d'ailleurs l'expression plus précise de votre sys- « tème ou de vos idées ingénieuses, sur le passage de la forme « rayonnée à la forme symétrique ou bilatérale. »

Ces observations, restées sans réponse, ont cependant continué de changer les idées de notre collègue, si j'en juge par le paragraphe suivant de sa dernière lettre à M. de Humboldt :

« *Je crois pouvoir démontrer aujourd'hui que les pièces* « *solides des Astéries sont identiques avec celles des Oursins,* « *tant par leur arrangement que par leurs rapports avec* « *les parties molles*............ D'où je conclus qu'il y a « identité morphologique et physiologique entre le sque- « lette des *Astéries* et celui des *Oursins.* »

J'ai dû être flatté en lisant ces lignes, écrites le 30 septembre 1847, comme en prenant connaissance de celles qui sont imprimées dans le compte rendu du 10 août 1846, de la conformité qu'elles ont avec ma publication du mois de février 1837.

Elles montrent que, pour les rapports essentiels que j'avais compris, il y a plus de dix années, entre les parties dures des quatre Ordres qui composent la classe des *Échinodermes*, les études savantes, multipliées, approfondies de notre collègue, lui avaient fait abandonner les négations de sa lettre du 6 novembre 1837, pour adopter ma manière de voir, du moins dans les parties essentielles, l'existence d'un

squelette intérieur, chez les *Oursins*, analogue à celui des *Astéries*.

Nous voilà donc parfaitement d'accord sur les faits, depuis les *Recherches anatomiques* de M. Valentin, entreprises à la sollicitation de M. Agassiz, et même pour leur interprétation (1). Il faut dire que, si cette interprétation varie suivant les observateurs, c'est qu'ils sont trop souvent entraînés par des idées préconçues, ou par celles qui prévalent momentanément dans la science qu'ils cultivent.

C'est ainsi, pour ne pas sortir de mon sujet, que M. Sars, auquel on doit de précieuses découvertes sur les animaux marins inférieurs, a cru voir la forme bilatérale dans quatre appendices de fixité, transitoires, qui paraissent à une certaine époque du développement d'une espèce d'*Astérie* (2).

Le corps de la larve de cette espèce, dans ses métamorphoses successives, de sphérique devient un peu oblong; germe ensuite successivement à l'une des extrémités de son plus grand diamètre, quatre appendices de fixité, au moyen desquels cette larve s'attache aux parois de la poche incubatrice de sa mère.

Le corps de la petite Astérie se développe indépendamment de ces appendices; s'aplanit comme une cible, en reprenant une forme circulaire plus régulière; puis il montre une partie centrale, toujours circulaire, comme encadrée dans

---

(1) Il ne reste plus que quelques dissentiments au sujet de leur généralisation, que le temps pourra faire disparaître.

(2) La même que MM. J. Müller et Troschel lui ont dédiée plus tard sous le nom d'*Echinaster Sarsii*.

cinq lobes arrondis, qui vont en se séparant de plus en plus, à mesure de l'accroissement de la petite Astérie, pour en former les rayons. Lorsqu'elle est devenue pentagonale, de circulaire qu'elle était, les quatre suçoirs, réunis par paires, à l'époque de leur plus grand développement, existent encore attachés au bord de l'étoile dans l'angle de deux lobes ou de deux rayons rudimentaires. Ces organes transitoires ne tardent pas à s'atrophier, et disparaissent successivement de même qu'ils s'étaient développés (1).

Leur apparition, comme organes accessoires, et leur existence momentanée, n'ont rien changé à la marche naturelle du développement du corps de l'Astérie, qui s'est montrée dès le principe sous la forme sphérique, ou arrondie et aplatie, et conséquemment avec les éléments de la forme rayonnée. Pour conclure de la disposition apparente de ces appendices transitoires, à la forme bilatérale du corps de l'Astérie, il faut avoir oublié la circonstance qui était prédominante dans cette observation, pour ne voir que sa partie accessoire.

Les observations toutes récentes de MM. Dufossé (2) et Derbes (3) sur ce développement des *Oursins*, jointes à celles-ci sur les *Astéries,* me paraissent au contraire confirmer l'idée que, dès le principe de son développement, tout animal a les caractères de l'*Embranchement* auquel il appartient.

---

(1) *Fauna littoralis* Norwegiæ, von M. Sars. *Erser Heft. Christiania*, 1846, p. 47 et suiv.; et pl. VIII, fig. 1-43.

(2) *Annales des sciences naturelles*, 3e série, 1847.

(3) *Ibid.*, même année.

« Chaque animal, avait très-bien dit G. Cuvier, est lui-
« même dès le germe, et ses caractères de Classe (ce mot est
« pris ici pour classe supérieure, c'est-à-dire *Embranche-
« ment*) se montrent presque dès les premiers instants où il
« apparaît à l'œil; on voit les vertèbres, dès les premiers
« jours de l'incubation d'un Vertébré, etc. (1). »

---

(1) *Leçons d'Anatomie comparée*, 2e édit., t. I, p. 35.

DEUXIÈME PARTIE (1).

DÉTERMINATION COMPARÉE DES DIVERSES PARTIES DU SQUELETTE DES ÉCHINIDES ET DES ASTÉRIES.

§ I.

Le squelette des *Échinides* et celui des *Astérides* sont absolument comparables, ainsi que je l'ai écrit en février 1837 ; mais pour que cette comparaison soit exacte, il faut commencer par reconnaître les différents rayons dont se compose la boîte osseuse, quelle que soit sa forme, qui constitue le squelette périphérique des *Échinides*.

Ces rayons sont faciles à reconnaître dans les *Cidarides* ou les Oursins réguliers, où ils sont arrangés comme des méri-

(1) Cette seconde partie a été lue à l'Académie des sciences dans la séance du 28 février 1848. *Voir* le compte rendu de cette séance, p. 266 et suivantes. Les parties II, III et IV comprennent de nouvelles études sur les faits indiqués dans le titre de ce Mémoire. Ces nouvelles études ayant pris beaucoup plus d'extension que je ne l'avais d'abord prévu, me forcent de changer le titre de simple *Note*, que j'avais d'abord donné à ce travail, en celui de *Mémoire*, dont les troisième et quatrième parties feront le sujet d'une lecture prochaine.

diens, et sont régulièrement soudés les uns aux autres, du pôle où est la bouche, au pôle où se trouvent l'anus et les orifices des organes génitaux.

Chacun de ces cinq rayons est symétrique, et se compose, dans la partie moyenne, d'une double série de pièces osseuses, que l'on doit déterminer comme les vertèbres; et, dans ses parties latérales, d'une série d'autres pièces osseuses, que l'on doit déterminer comme les côtes.

Celles-ci se soudent avec la partie correspondante du rayon voisin, et composent ensemble la région dite *inter-ambulacraire;* tandis que la région que l'on nomme *ambulacraire* est la partie *vertébrale* d'un même rayon.

Les diverses pièces *vertébrales* ou *costales,* dans la nomenclature que nous avons adoptée, sont de même forme dans chaque série; elles ne diffèrent que par les proportions, qui vont en diminuant de l'équateur de la boîte osseuse à l'un ou l'autre pôle.

La composition rayonnée est absolument la même dans tous les autres *Échinides* réunis dans les familles des *Clypéastroïdes,* des *Cassidulides* et des *Spatangoïdes,* telles que M. Agassiz les a reconnues et caractérisées.

Nous prendrons, pour le démontrer, une espèce de cette dernière famille, le *Spatangue cœur,* que l'on regarde généralement comme s'éloignant beaucoup de la forme rayonnée, et se rapprochant le plus de la forme symétrique.

Son squelette se compose de cinq rayons, comme celui de l'*Oursin comestible.* Ces rayons ont de même l'orifice buccal pour point de départ; mais comme cet orifice est transversal, et un peu en arrière du bord de la boîte osseuse, dans la face inférieure, on peut y distinguer un rayon impair et

deux rayons pairs. Le premier est perpendiculaire à la lèvre la plus rapprochée du bord de la boîte osseuse.

La paire qui vient immédiatement après ce rayon part de cette même lèvre, sur les côtés, et se dirige vers la périphérie, en s'arquant un peu du côté du rayon impair.

Les deux autres rayons partent de chaque commissure de la bouche, et se portent, en s'écartant très-peu l'un de l'autre, vers le bord le plus éloigné de cet orifice, où se trouve l'anus.

Ces cinq rayons sont de longueur fort inégale à la face inférieure de la boîte osseuse, à cause de la position de la bouche, qui est ici très-excentrique; ils convergent régulièrement, du côté supérieur, vers le centre de la voûte que forme la boîte osseuse, et où se trouvent les quatre orifices des organes génitaux et le pôle génital.

Ils se composent de même des séries de pièces vertébrales et costales que nous avons reconnues dans les *Oursins réguliers*.

Les pièces *vertébrales* diffèrent peu entre elles pour la forme, et même pour les dimensions, du moins à la face inférieure. A la face supérieure, elles diminuent à mesure qu'elles convergent vers le pôle génital.

Mais les pièces costales destinées à remplir les intervalles des rayons et à réunir ces rayons entre eux, sont d'autant plus grandes, que ces rayons sont plus écartés l'un de l'autre. Soudées entre elles à la face inférieure, sans doute pour la solidité des mouvements, elles sont peu nombreuses; mais elles correspondent de nouveau aux pièces vertébrales, par leur nombre, dans la face supérieure de la boîte osseuse.

La boîte osseuse des *Spatangues* présente donc une com-

position identique avec celle des *Cidarides*. On y démontre de même cinq rayons, qui vont de la bouche au pôle supérieur ou génital. Chaque rayon se compose également de deux séries de pièces vertébrales, qui en forment la partie moyenne, et de deux séries de pièces costales, qui sont réunies par suture aux deux côtés de celles-ci.

Les pièces vertébrales à travers lesquelles communiquent les appendices vésiculeux externes de toute espèce, soit tactiles, soit respirateurs, soit locomoteurs, avec les organes internes correspondants, ont, à cause de ces connexions, plus de constance dans leur forme et leur nombre, que les pièces costales qui n'ont pas cet emploi.

Mais la position excentrique de la bouche a entraîné de l'inégalité dans la longueur des rayons, des différences plus ou moins grandes dans l'étendue des intervalles qui les séparent, et dans les dimensions des pièces qui remplissent ces intervalles. Il en résulte que ces rayons ne sont plus symétriques, et que cette asymétrie se remarque uniquement dans la partie costale de chaque rayon.

Le déplacement de l'anus, qui s'est séparé du pôle génital, pour se poser entre les pièces costales de deux rayons, n'influe presque en rien sur la forme et les dimensions proportionnelles de ces rayons et des pièces qui les composent. Aussi peut-il être percé à l'extrême bord, ou bien s'en éloigner plus ou moins pour occuper sa face inférieure ou supérieure : cela ne forme pas un caractère différentiel important; les Zoologistes systématiques l'ont reconnu dans quelques cas.

Ce qui vient d'être dit montrera qu'il en est autrement de la position de la bouche, de laquelle partent les cinq

rayons qui composent toujours la boîte osseuse des *Échinides*, pour converger vers le pôle génital.

Lorsqu'on s'est appliqué à ne voir dans les *Spatangues* que la différence dans leur forme générale, et surtout dans la position de la bouche et de l'anus, sans reconnaître leur composition rayonnée, formée de même de cinq rayons; on s'est arrêté, selon nous, à la surface, aux premières apparences, sans voir ce que cette comparaison des *Oursins* réguliers et des *Spatangues*, et par suite, de tous les *Échinides*, présentait de plus important, relativement à l'*uniformité de sa composition rayonnée.*

§ II.

Après ces préliminaires sur la composition générale du squelette des *Échinides,* nous pouvons entreprendre de le comparer avec celui des *Astérides,* sans craindre de ne pas être compris.

Afin de rendre les détails dans lesquels nous allons entrer plus faciles à saisir, nous avons fait dessiner (1) la coupe d'un rayon libre de l'*Astérie glaciale* (2) (Asteracanthion glacialis, M. et T.) faite près de la base; celle d'un des cinq rayons

---

(1) C'est M. Focillon, licencié ès sciences naturelles, et mon préparateur au Collége de France, qui a exécuté ces dessins avec toute l'intelligence et toute l'exactitude désirables.

(2) Pl. I, fig. 1.

soudés de l'*Asteriscus palmipes,* M. et T., (1) et celle de la coupe d'un rayon de l'*Oursin comestible* (2) en indiquant par les mêmes lettres les parties comparables et exactement correspondantes.

La coupe de l'*Oursin* représente celle d'un rayon qui se compose de l'aire dite *ambulacraire* dans sa partie moyenne et de la moitié des deux aires *inter-ambulacraires* sur les côtés. Ces dernières sont les côtes, et la partie moyenne la colonne vertébrale de ce rayon symétrique.

On reconnaîtra facilement que les pièces moyennes (*a* et *b*), dans les deux espèces d'*Astéries* et dans l'*Oursin* (3), forment ce qu'on regarde depuis longtemps, dans les *Astéries* (4) comme le corps de la vertèbre; que la pièce latérale (*c*) est une sorte de côte, très-courte dans les *Astéries,* très-longue dans l'*Oursin;* qu'à l'extérieur de cette dernière pièce se voient, dans l'*Oursin,* plusieurs séries de petites pièces (*d*) destinées à soutenir les piquants; que ces mêmes pièces, rapprochées dans l'*Oursin*, sont plus ou moins distantes dans l'*Astérie,* et que chacune d'elles correspond de même à un piquant, et est destinée à le soutenir.

Dans un rayon séparé d'*Astérie,* le squelette est aussi superficiel, dans toutes ses parties, que celui de l'*Oursin,* éga-

---

(1) Pl. I, fig. 2.

(2) Pl. I, fig. 3.

(3) Elles sont traversées par un ou deux canaux, établissant la communication entre les pieds vésiculeux (p. p.) et les vessies internes correspondantes (v.).

(4) Voir, dans l'ouvrage cité du célèbre Tiedemann, l'explication de la fig. 1 de la pl. IX.

lement recouvert par la peau, et revêtu en dedans par le péritoine, lorsque la cavité viscérale s'y prolonge.

Seulement, dans certaines espèces (l'*Astérie glaciale*), c'est la partie vertébrale proprement dite qui est la plus superficielle; tandis que les parties costales sont séparées de la peau par des renflements de tissu fibro-celluleux, formant ces tubercules que les piquants traversent, et qui semblent leur servir de gangue.

Je ne comprends pas, d'après cela, pas plus que M. Agassiz, qu'on ait pu regarder la partie vertébrale proprement dite d'un rayon comme formant un squelette interne, et les parties latérales qui viennent s'y joindre, sur les côtés, comme constituant un squelette superficiel : cette différence n'existe pas. L'ensemble de toutes ces pièces, dans les *Astéries*, compose un squelette interne, ainsi que je viens de le dire, mais superficiel, ou périphérique, comme chez les *Oursins* (1).

Dans l'*Astérie* à rayons libres, les deux bords internes des

---

(1) Voici les expressions de M. J. Müller :

« Les Astérides sont des Échinodermes en étoile ou polygonales, le plus généralement de forme pentagonale, qui, outre un squelette cutané, ont un squelette intérieur, qui manque à tous les autres.

« Ce squelette consiste en autant de séries d'articles réunis par des articulations, qu'il y a de bras, et part toujours du côté ventral de l'enveloppe commune, et particulièrement de la bouche.

« Chez les Astérides, ces séries d'articles forment le plancher du sillon ventral, et le squelette de la peau s'appuie des deux côtés du sillon sur ces vertèbres, de telle sorte qu'il en résulte une cavité viscérale dans laquelle se prolongent les cœcum de l'estomac, et en partie les organes génitaux, etc. »

parties costales du rayon se soudent entre eux pour intercepter une division de la cavité viscérale que comprend chaque rayon.

Dans l'*Oursin*, ils se soudent aux parties correspondantes du squelette qui appartiennent aux deux rayons voisins, de manière que les cinq rayons ne forment qu'une seule cavité viscérale commune.

Quelque chose d'analogue a lieu dans l'*Astérie* à rayons soudés, sauf que la cavité viscérale est bornée à la partie centrale du pentagone, et que la cavité des rayons est interceptée par des colonnes osseuses qui vont d'une face à l'autre, et qui aboutissent à des pièces isolées du squelette périphérique, les analogues de celles qui soutiennent les piquants dans l'*Astérie* à rayons libres.

Cette disposition rappelle les cloisons osseuses qui divisent la cavité viscérale des Oursins aplatis, tels que ceux de la famille des *Clypéastres*.

Dans l'*Oursin,* toutes les parties du squelette sont tellement articulées par suture, que leur ensemble forme une véritable boîte osseuse, laissant seulement un vide aux deux pôles pour des pièces accessoires appartenant à la bouche ou aux organes génitaux, ou autres, qui conservent une certaine mobilité, soit entre elles, soit relativement au reste du squelette.

Dans un rayon d'*Astérie,* au contraire, l'ossification est incomplète; l'ensemble n'est encore que membraneux; c'est un périoste général, dans lequel il se forme autant de capsules de même nature qu'il doit y avoir de parties distinctes, restées cartilagineuses, ou plus ou moins ossifiées.

La plupart des pièces durcies ne sont que cartilagineuses. Au lieu de se toucher, elles sont comme dispersées dans l'étendue de ce squelette membraneux.

L'aspect de la série des pièces médianes, dans la cavité du rayon, est frappant de ressemblance avec la colonne vertébrale d'un Vertébré, considérée dans la cavité viscérale en général, ou dans les cavités thoraciques ou abdominales de ceux qui les ont séparées.

Cette comparaison incontestable, par sa justesse intuitive, oblige de considérer l'*Oursin* comme ne montrant, de toutes parts, que sa face dorsale; et l'*Astérie*, comme ayant sa face dorsale précisément du côté que l'on a désigné jusqu'ici comme la face abdominale.

La position du cordon nerveux principal de chaque rayon de l'*Astérie*, le long de la ligne médiane du sillon, entre les rangées de pieds, sous la peau et au côté dorsal des vertèbres, semble corroborer la détermination que nous venons d'indiquer.

Cette position relative est, en effet, celle du canal vertébral qui manque ici.

Mais dans les *Oursins*, il faut le reconnaître, les mêmes relations sont changées. Le principal cordon nerveux de chaque rayon est en dedans du squelette, dans la cavité viscérale, où il est joint au tronc vasculaire qui envoie des branches à la double série de vésicules respiratrices, en rapport avec les pieds vésiculeux.

Cette position relative, si différente, qui semble transformer les moelles épinières des *Astéries* en autant de *cordons sympathiques* dans les *Oursins*, montre que, dans ce cas, il n'y a que la disposition et les connexions générales qui soient

changées, et nullement les distributions particulières et les usages fonctionnels.

Concluons-en qu'il y a, dans les compositions organiques dont nous cherchons à apprécier les ressemblances, de très-évidentes et très-nombreuses analogies, plutôt qu'une identité complète.

§ III.

DES PIQUANTS DANS LES ÉCHINIDES.

Dans les *Échinides,* les piquants sont constamment articulés à un tubercule arrondi, plus ou moins saillant, appartenant à l'une des plaques vertébrales ou costales, comme une épiphyse appartient à son os chez les Vertébrés. La facette articulaire du piquant est plus ou moins concave, pour se mouvoir sur la convexité de ce tubercule, que l'on peut détacher assez facilement de la plaque à laquelle il appartient.

Dans le *Spatangue cœur* (1), la partie articulaire de chaque piquant se compose d'une grande surface (*a*), inégalement conique, couronnée par une crête (*b*), à laquelle s'attachent les muscles (*i*) de l'articulation; son sommet est un tubercule sphérique (*c*), formant proprement la facette articulaire; au milieu de ce tubercule, il existe une fossette pour l'attache d'un ligament (*d*), semblable à celui qui fixe la tête du fémur

---

(1) Pl. III, fig. G - 1, 2 et 3.

chez l'Homme et les Mammifères, au fond de la cavité articulaire correspondante du bassin.

C'est autour de ce tubercule que s'attache la capsule articulaire (*k*); elle se fixe d'autre part à la couronne de petits tubercules (*f*) qui entourent la base du mamelon articulaire (*g*) de la plaque. On voit de même, au pôle de ce mamelon, une fossette (*h*) pour l'attache de l'autre extrémité du ligament rond.

Il n'existe pas, dans les Vertébrés, d'articulation plus parfaite, pour la liberté des mouvements en tous sens, et mieux armée de muscles pour les produire, sinon avec une grande force, du moins dans toutes les directions, puisque de petits muscles entourent complétement cette articulation, et peuvent la fléchir de tous les côtés.

La distance entre leur attache au piquant et le point d'appui de ce levier facilite encore leur action.

Dans le genre *Echinus* (1) la partie du piquant entourée par les petits muscles (*i*) est plus régulière; elle est couronnée par un cercle de tubercules (*b*), auxquels viennent aboutir les cannelures du piquant, et qui donnent attache aux petits muscles qui enveloppent aussi de toutes parts cette articulation. La saillie articulaire (*a*) du piquant a, dans son sommet, une fossette articulaire plus marquée (*l*), dans laquelle pénètre le tubercule (*d*) de la plaque correspondante du squelette. Cette fossette n'a pas de trou pour l'attache d'un ligament rond. Nos espèces n'en présentent pas davantage dans les tubercules des plaques. Si quelques-uns paraissent

---

(1) Pl. III, fig. H-4.

en avoir, c'est par accident, lorsque le durcissement n'est pas complet dans l'axe du tubercule, comme à sa circonférence; aucun ligament d'ailleurs ne s'y attache.

Dans l'*Oursin comestible* et, selon toute apparence, dans toutes les espèces de ce genre, le ligament rond de l'articulation manque. Il en résulte que les piquants sont beaucoup plus caduques que dans les *Spatangues,* et qu'après la mort les *Oursins* propres en sont très-souvent dégarnis en grande partie, tandis que les *Spatangues* ont conservé les leurs.

Il en résulte encore, ce que nous démontrerons dans le paragraphe suivant, que les piquants sont, chez le *Spatangue cœur,* les principaux organes du mouvement; tandis que, chez les *Oursins* propres, ils paraissent partager plus également cette fonction avec les pieds vésiculeux.

La coupe transversale d'un piquant d'*Echinus esculentus* montre une partie axillaire incolore. Autour de cet axe, il y a un premier rang de lames minces, également incolores, qui forment comme des rayons séparés par des intervalles vides et réunis à leur bord par une lame circulaire. Au delà de cette lame, elles se continuent plus épaisses et montrent deux couleurs qui semblent indiquer encore deux autres époques d'accroissement.

Ces prolongements de la première série de lames manquent aux petits piquants, qui n'ont que cette première série et l'axe incolore qu'elles entourent.

Le tubercule articulaire de la plaque sur lequel se meut chaque piquant, faisant partie du même appareil de mouvement, le complétant, se développe avec lui, paraît comme une épiphyse sur chaque plaque, dont on le détache facilement.

§ IV.

DES PIQUANTS DANS LES ASTÉRIES.

L'*Astérie glaciale* (Asteracanthion glacialis, J. M. et T.) a des piquants considérables (1), soit à sa face dorsale, soit à sa face ventrale, entre lesquels s'en trouvent de moindres dimensions (2). Tous font partie du squelette ; ils reposent tous sur l'un des tubercules appartenant à ce squelette (3).

Comme ces tubercules, ils se développent dans une capsule comparable au périoste et de nature analogue.

On dirait même qu'elle se continue avec celle du tubercule, pour laisser libre une partie de sa base, formant une facette articulaire un peu concave, qui se meut librement sur le sommet correspondant du tubercule, sur lequel le piquant est posé.

Ces mêmes piquants sont recouverts par la peau qui est contractile, et me paraît être le seul moyen de les mouvoir.

Il y a donc une analogie très-grande entre les piquants des *Astéries* et ceux des *Oursins,* et les différences viennent de celles qui existent entre le squelette, plus complétement ossifié chez les derniers, beaucoup moins ossifié chez les premiers.

Il en résulte que les piquants, chez les uns (les *Oursins*), font partie des organes du mouvement, tandis que, chez les

(1) Fig. 1, *e e*, *e' e'*.
(2) Fig. 1, *e''*, *e''*.
(3) Fig. 1, *d*.

autres (*les Astéries*), ce ne sont plus que des armes défensives.

Sous ce rapport, nous avons découvert un arrangement particulier et très-remarquable dans l'*Asteriscus palmipes*, M. et T.

On observe, de chaque côté de la double série des pieds vésiculeux, quatre rangées de piquants réunis par paires; chaque paire s'articule sur un même tubercule, et paraît devoir se rapprocher par la pointe, dans les contractions de la peau (1).

La série la plus près des pieds vésiculeux est plus longue que les pieds; la série externe est de la même longueur. Ces deux séries de pinces sont évidemment des armes défensives, arrangées pour protéger les pieds vésiculeux contre les animaux marins qui en feraient leur proie.

Cette explication deviendra plus évidente, lorsque nous aurons démontré, dans la *Troisième partie* de ce mémoire, l'usage des *Pédicellaires*, dont cette espèce d'Astérie est dépourvue, mais qui existent chez d'autres espèces d'un certain nombre de genres de cette famille.

---

(1) Pl. I, fig. 2, *e'* et *e''*, et fig. 2 *bis*, qui représente une de ces paires de piquants grossis.

TROISIÈME PARTIE.

DES PÉDICELLAIRES.

---

§. V.

DES PÉDICELLAIRES EN GÉNÉRAL.

Les Pédicellaires que l'on rencontre à la surface du corps des *Oursins* et d'un certain nombre d'espèces d'*Astéries*, ont été le second sujet de mes études.

Ce sont de petits corps de quelques millimètres de long, composés, le plus souvent, d'une tige et d'une tête en forme de pince à trois ou à deux branches, attachés aux téguments de ces animaux.

Leur usage est encore problématique, quoique l'opinion que ce sont des organes appartenant aux téguments prévale en ce moment, et puisse être démontrée.

C'est à O. F. Müller, l'auteur célèbre, entre autres, de la *Zoologie du Danemark,* qu'on en doit la découverte. Il les nomma et les décrivit, dans cet ouvrage, comme des animaux d'un aspect singulier, qu'il avait trouvés entre les piquants de l'*Echinus saxatilis*. Il en distingua et il en figura trois espèces : ce sont ses *Pedicellaria globifera*, *tridens* et *triphylla*. (Pl. XVI, fig. 1-9.)

Dans la première édition des *Animaux sans vertèbres,* qui a paru en 1801, Lamarck classait le genre *Pédicellaire,* avec les *Corynes* et les *Hydres,* parmi les *Polypes nus*, et citait, pour exemple, la *Pedicellaria globifera* de Müller, qu'il regardait comme le type de ce genre.

G. Cuvier assigna la même importance aux *Pédicellaires,* dans la première édition de son *Règne animal*, en conservant le genre *Pedicellaria* de O. F. Müller et de Lamarck, et il le classa de même parmi les *Polypes nus*, avec les *Hydres*, les *Corynes*, *etc.;* en avertissant toutefois que *divers auteurs les regardaient comme les organes des Oursins.*

En 1825, M. de Blainville crut devoir consigner, pour l'histoire de la science, dans le Dictionnaire des sciences naturelles (T. 37), au mot *Pédicellaire*, les caractères de ce genre et des trois espèces décrites par O. F. Müller, telles que cet auteur et Lamarck les avaient admises; il ajouta même une quatrième espèce, la *Pedicellaria rotifera,* décrite par Lamarck. Mais il eut soin d'exprimer ses doutes sur l'individualité animale des trois premières espèces, et la certitude qu'il avait acquise, d'après ses propres observations, que la quatrième espèce avait été faite avec les cirres tentaculaires du pourtour de la bouche des Oursins, sur lesquels Lamarck avait cru découvrir cette espèce prétendue.

Dans la même année (1825) M. Delle-Chiaje émettait l'opinion que les Pédicellaires sont, sans aucun doute, les organes des Oursins. Selon cet auteur, ces prétendus polypes font partie intégrante du corps des Oursins; ils leur servent à s'attacher aux objets environnants et à saisir les animalcules dont ils peuvent se nourrir.

Ils ont un pédicule osseux, articulé à un condyle, comme

les piquants. Leur extrémité libre se compose d'un groupe de fibres se distribuant à trois pièces osseuses, longues, grêles, ponctuées et articulées.

Celles de l'*Echinus spatangus* sont plus petites que les Pédicellaires de l'*Echinus edulis*. Dans l'*Echinus neglectus*, elles ressemblent au fruit du fusain (1).

M. Valentin, dans sa *Monographie anatomique du genre Echinus,* déjà citée, distingue trois formes de *Pédicellaires,* analogues aux trois espèces que O. F. Müller avait nommées. Ce sont les *Pédicellaires gemmiforme, ophicéphale* et *tridactyle.*

Ces dernières se voient particulièrement, selon cet observateur, autour des piquants des aires interambulacraires. Leur longueur moyenne est de 0^{m},0044, et celle de leur tête de 0^{m},0005 à 0^{m},001. M. Valentin rejette l'idée que ces diverses formes appartiendraient à des degrés différents de développement d'un seul et même organe, attendu qu'il n'en a pas trouvé les formes intermédiaires.

Dans une note de cette Monographie, ajoutée par M. Agassiz, ce savant émet l'hypothèse que les Pédicellaires des *Oursins* seraient une première forme de leurs petits.

Une année après, en 1842, M. le professeur Erdl publiait, dans les *Archives d'histoire naturelle* de *H. F. Erichson*, des observations détaillées *sur la structure et les phénomènes vitaux des Pédicellaires,* qui l'ont conduit aux mêmes conclusions que MM. Delle-Chiaje et Valentin.

La peau de l'*Oursin* se continue sur la tige, la tête et les branches de ces organes tégumentaires, et paraît de même

(1) *Memorie sulla storia et notomia degli animali senza vertebre*, etc., in-4°, p. 324. Napoli, 1825. Pl. LIV, fig. 18 et A, pour cette dernière forme.

ponctuée de taches colorées. Il distingue trois formes de Pédicellaires; c'est dans l'*Echinus saxatilis* qu'il les a observées.

La première forme répond à la *Pedicellaria globifera* d'O. F. Müller, et à la *Pedicellaria gemmiformis* de Valentin.

La tête se compose de trois valves, formant un bouton à peu près sphérique quand elles sont rapprochées, et montrant, lorsqu'elles sont écartées, au centre de l'extrémité de la tige qui les supporte, une fossette, sorte de ventouse triangulaire.

La peau qui les revêt, en dedans, a des cils vibratiles.

Ces trois valves ont des mouvements continuels, lorsque l'animal est encore plein de vie, au moyen desquels l'organe s'ouvre et se ferme alternativement. La tige même se fléchit ou se redresse. M. Erdl a vu les mouvements des valves persister pendant quelques minutes, après avoir détaché l'organe du corps de l'Oursin.

Il distingue cette première forme comme sa première sorte d'*organes à valves :* sa seconde sorte est, selon lui, une forme transitoire de la première à la troisième. Il l'appelle organe à *valves foliacées*. Les trois valves mobiles de la tête sont en forme de feuilles, à bord denté en scie.

La tige est plus roide que dans la première sorte, quoique couverte de même d'une peau colorée, pourvue de cils vibratiles; elle se fléchit en spirale. Les valves se meuvent avec moins de vivacité que dans la première sorte, et leurs mouvements cessent aussitôt qu'on a séparé l'organe du corps de l'Oursin. Cette sorte d'organes à *valves foliacées* répond à la *Pedicellaria triphylla* d'O. F. Müller, et à la *Pedicellaria ophiocephala* de Valentin. Les valves se touchent dans toute leur longueur, quand elles sont rapprochées, et leurs dents s'engrènent les unes dans les autres.

La troisième sorte d'organe distinguée par M. Erdl, est sa Pédicellaire à pinces en tenailles; c'est la plus grande des trois. Elle est colorée dans toute son étendue. Chacune de ses trois branches, qui sont étroites, allongées et recourbées en pointe à leur extrémité, a trois arêtes, dont les deux latérales sont dentées en scie. Rapprochées, elles ne se touchent que par leurs extrémités. Leurs mouvements sont prompts et énergiques.

L'auteur a observé de ces organes sur toute la surface du corps de l'Oursin, entre ses piquants, et entre ses pieds vésiculeux ou ses suçoirs. Il a trouvé ceux de la première sorte plus nombreux dans l'hémisphère buccal ou inférieur, et moins nombreux dans l'hémisphère anal, où ceux de la troisième sorte existent en plus grand nombre. Les moins nombreux étaient ceux de la forme intermédiaire, en feuilles.

M. Erdl les regarde comme des organes préhensibles, saisissant une proie proportionnée à leur volume, et la transmettant de proche en proche jusques à la bouche, pour ceux du moins qui sont éloignés de cet orifice, et pour ainsi dire au pôle opposé du corps. Il a vu des *Néréides* de plusieurs pouces de long, tellement saisies par ces organes, qu'ils se sont détachés du corps, plutôt que de lâcher prise, lorsqu'il a essayé de mettre ces *Néréides* en liberté.

Les observations de MM. Delle-Chiaje et Valentin, celles en dernier lieu de M. Erdl, ont avancé très-sensiblement la connaissance des Pédicellaires, relativement à leur structure et à leur nature, comme organes des Échinides.

Il manque cependant un travail d'ensemble, exécuté comparativement sur un grand nombre d'espèces de l'ordre des *Échinides,* pour déterminer si leur existence est générale;

ou si elle caractériserait certains genres, ou seulement quelques espèces d'autres genres, ainsi que MM. J. Müller et Trochel l'ont vu pour les *Astérides*.

Il faudrait s'assurer si leur forme et leurs proportions varient selon l'âge et le sexe? Si certaines formes, sous lesquelles elles peuvent se présenter dans le même individu, occupent de préférence telle ou telle partie du corps? Si leur présence enfin, quant à leur nombre, comme relativement à leur forme, a quelque constance, dans tous les individus d'une même espèce et dans les différentes parties de la surface de leur corps où elles sont attachées?

En attendant que ce travail d'ensemble soit exécuté par une main habile, ayant à sa disposition une des grandes collections de ces animaux, je demande la permission d'apporter, au profit de la science, mon modeste tribut d'observations et les conclusions que j'ai cru pouvoir en tirer.

§ V.

PÉDICELLAIRES DES ÉCHINIDES.

J'ai observé les Pédicellaires de deux espèces du genre *Echinus*, les *Echinus esculentus* et *miliaris* (1), et d'une espèce de *Spatangue*, le *Spatangue cœur* (2).

---

(1) Encyc., pl. 133, fig. 1 et 2.

(2) Mes exemplaires de l'*E. esculentus* viennent de Brest. Ils ont 0m,080 d'un pôle à l'autre, et 0m,110 de diamètre à l'équateur. Les piquants sont vert-clair, les plus grands ont leur extrémité violette. La peau montre encore des traces d'un rouge carmin, après un séjour de plusieurs années dans l'alcool.

Les Pédicellaires de l'*Oursin comestible* sont de trois sortes :

1° Les plus nombreuses, mais en même temps les plus petites, ont une tige assez longue, à proportion de la tête, qui est ovale et fermée de trois valves qui figurent assez bien une tulipe.

La tige se compose d'une partie osseuse grêle et cylindrique, un peu élargie à son extrémité basilaire, par laquelle elle s'articule à un petit tubercule du squelette, et à l'extrémité opposée, au delà de laquelle cette tige n'est plus qu'un double tube membraneux transparent. Le tube extérieur est formé par la continuation de la peau; l'intérieur appartient essentiellement à l'organe; c'est la partie contractile.

Nous croyons pouvoir regarder, comme le premier développement de cette forme, celle qui est représentée dans notre planche II (fig. I, *a*), et son développement complet, celle figurée (*a'*). Ici l'on voit au milieu des trois valves principales, trois autres valves plus petites.

D'autres Pédicellaires, beaucoup moins nombreuses, ont les divisions du bouton, ou de la tête, élargies et allongées en forme de feuilles, comme celles représentées par M. Erdl Pl. II, fig. 5 et 6.

Nous les regardons comme une forme transitoire, comme un degré de développement de la forme définie que présente la figure (*c*). On reconnaît encore, dans ce premier degré de développement, la forme désignée par M. Valentin sous le nom d'*ophicéphale*. Nous ferons remarquer que la peau se prolonge encore sur tout l'organe, même autour des valves, et que le tube membraneux et musculeux qu'elle recouvre s'en distingue par sa forme en spirale (fig. I, *b*). Cette forme

rappelle les contractions, dans ce sens, que ce tube exerce dans l'état de vie.

Dans la forme définie, qui est figurée en (*c*), les trois branches de la tête sont très-allongées, grêles, excepté à leur base, qui est très-élargie, sans aucune dentelure : lorsqu'elles sont rapprochées, elles ne se touchent que par environ le dernier tiers de leur longueur. Le pied ne nous a rien offert de particulier. Le tube membraneux a sa partie tégumentaire beaucoup plus large que celle formée par la paroi musculo-membraneuse appartenant à la Pédicellaire. Celle-ci se continue avec le pédicule osseux, qui est long, grêle et élargi à ses deux extrémités.

Ces Pédicellaires à tenailles sont les plus grandes. Nous en avons trouvé qui avaient 0m,006 de long, y compris la tête, qui mesurait 0m,0025. Toute la surface de l'Oursin, principalement à la base des piquants des aires ambulacraires, ou interambulacraires, de ceux rapprochés des pieds comme des autres, en était armée. Lorsque les Pédicellaires tiennent par leur pied à un tubercule osseux, celui-ci est adhérent à la peau.

Dans la seconde espèce d'*Echinus*, l'*Echinus miliaris*, dont les exemplaires étaient beaucoup plus petits que ceux de la première, nous avons trouvé les formes variées représentées dans la fig. II, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Ces diverses formes nous ont paru indiquer évidemment différents degrés de développement, depuis la première (*a*), qui est la plus simple, jusqu'à la forme (*e*), qui est la forme définitive dans cette espèce.

On remarquera combien les proportions de la tête augmentent dans ces divers degrés de développement. Dans la Pédicellaire de la figure II, *c*, nous avons trouvé des lambeaux

de membranes qui paraissaient avoir enveloppé les branches de la pince encore peu développées. La figure II, *d*, est la dernière transition, avant de passer à la forme définitive, à laquelle cette forme conduit évidemment. Dans celle-ci, les branches de la pince sont creusées en cuiller et dentées à leur bord; elles peuvent se toucher dans la plus grande partie de leur longueur, lorsqu'elles sont rapprochées.

Les formes des Pédicellaires que nous avons observées sur le *Spatangue cœur* nous ont offert des différences analogues; elles sont représentées, avec exactitude, figure III, *a, b, c, d,* de notre planche II.

Il est impossible, à ce qu'il nous semble, de ne pas se laisser aller à l'idée que les trois premières ne sont que des degrés de développement de la quatrième, qui nous a paru la forme définitive. Celle-ci se distingue par les branches de la pince, qui sont grêles dans la plus grande partie de leur longueur, très-élargies à leur base, et en spatule à leur extrémité par laquelle elles se touchent. La figure *b'* représente une de ces Pédicellaires prise entre les pinces de sa voisine. On en rencontre assez souvent qui ont ainsi l'air de se dévorer l'une l'autre.

Si l'on compare les trois formes définitives que nous venons de décrire, et qui sont représentées dans notre planche, avec les formes analogues des Pédicellaires de l'*Echinus saxatilis* décrites par M. Erdl Pl. II (fig. 8 et 9), à celles de l'*Echinus brevispinosus,* Risso, représentées Pl. IV (fig. 45 à 50) du mémoire de M. Valentin, on ne pourra s'empêcher de penser que ces différentes espèces du même genre *Echinus* ont chacune des formes de Pédicellaires qui leur sont propres.

§ VI.

PÉDICELLAIRES DES ASTÉRIES.

Dans l'*Astérie glaciale*, Asteracanthion glacialis, M. et T. (Encycl., Pl. 119, fig. 1), on trouve des Pédicellaires sur les deux faces du corps.

A la face dorsale, il y en a de deux sortes : les unes, plus grandes, sont disposées assez régulièrement entre chaque série latérale et la série moyenne des tubercules épineux. Il y en a conséquemment deux séries régulières, dont chaque Pédicellaire est assez distincte de la précédente et de la suivante, de manière que leur nombre n'est guère, pour chaque série, que de dix ou de douze. Elles ont d'ailleurs une forme et un volume identiques, et elles ne montrent pas toutes ces différences que nous avons observées dans les Pédicellaires des Oursins.

Chaque Pédicellaire se compose de deux valves épaisses, de nature calcaire (1), aplaties en dedans, arrondies en dehors, un peu allongées, qui se touchent dans toute leur étendue en se rapprochant. Ces deux valves reposent et se meuvent sur un tubercule de même nature (*k*) par une articulation en charnière. Deux muscles externes, un de chaque côté, servent d'abducteurs (2), et deux internes, d'adducteurs pour chacune de ces valves (3).

---

(1) Fig. IV, *a*. Cette figure représente une Pédicellaire tenant des grains de sable entre ses valves.

(2) Fig. IV, *a*, 1-1.

(3) Fig. IV, *a*, 2-2.

Cet organe est porté par un pédicule court, membraneux, et non calcaire, mais assez résistant, puisqu'il supporte le poids de ce que nous appelons la tête de la Pédicellaire. Ce pied se continue avec la peau de l'Astérie.

Des Pédicellaires beaucoup plus petites, extrêmement nombreuses, couvrent les tubercules du milieu desquels sortent les piquants. Elles sont groupées irrégulièrement sur ces tubercules (comme on peut le voir dans la fig. IV, *b*); elles y sont attachées immédiatement, sans l'intermédiaire d'un pédicule.

Ces Pédicellaires rudimentaires, qui n'ont l'air, à l'œil simple, que de granulations, peuvent-elles avoir quelque usage?

Des Pédicellaires développées, analogues à celles de la face dorsale, se voient sur la face inférieure, entre la série extérieure des piquants et les tubercules latéraux. Elles sont en petit nombre. Les plus nombreuses sont entre les pieds et les piquants; nous en avons compté plus de soixante par série.

Ces Pédicellaires sont plus grandes que celles de la face dorsale; leurs branches sont en palette; elles se meuvent aussi sur un tubercule commun, lequel est engaîné par un pied membraneux. Celui-ci est très-ample, en forme de bourse, dans une grande partie de sa longueur, et va en se rétrécissant rapidement avant de se terminer à la peau (1).

---

(1) Notre fig. V, *b'*, représente une de ces Pédicellaires, vue de côté; *b''*, une des branches vue de face; *b'''*, les branches ou les valves et le tubercule sur lequel elles se meuvent, dégagés des membranes qui les enve-

Nous avons aussi rencontré sur cette face inférieure quelques Pédicellaires d'une forme analogue, mais plus petites. Elles nous ont paru de la même espèce, mais se développant (fig. V, *a'*).

Dans l'*Astérie rouge* (Asteracanthion rubens), les Pédicellaires ont une singulière disposition. Les seules qui soient un peu développées sont groupées irrégulièrement autour et près de l'extrémité des piquants, qui bordent le sillon où se trouvent les pieds. Ces Pédicellaires sont aussi sessiles, c'est-à-dire, sans pied, comme celles rudimentaires des tubercules de l'*Astérie glaciale.* Leur forme est plus comprimée, un peu plus allongée, plus en pincette (1). Les autres parties du corps de cette espèce n'en présentent aucune de développée.

La principale différence entre les Pédicellaires des *Astéries* et celles des *Oursins,* ainsi que l'a observé M. J. Müller, consiste dans le nombre des branches de leur tête. Il y en a deux seulement dans les Pédicellaires des Astéries; tandis que celles des Oursins en ont trois.

Une autre différence remarquable consiste dans l'absence de parties dures dans le pied, qui est uniquement membraneux et musculeux, et n'a pas de tige osseuse comme celui des Pédicellaires des Oursins.

Mais on ne peut méconnaître les analogies qui existent entre les unes et les autres. Ce sont toujours de très-petits

---

loppaient; *a'* est une plus petite Pédicellaire, de la même espèce, mais qui n'était pas complétement développée.

(1) Voir notre fig. VI.

organes, propres à saisir des objets proportionnés à leur volume. Ces organes sont tellement éloignés de la bouche, qu'on ne peut pas leur supposer l'usage, admis par M. Erdl, de servir d'organes de préhension des substances alimentaires, et de les transmettre de proche en proche, de la Pédicellaire la plus éloignée de la bouche, à celle qui en serait la plus rapprochée.

Voici l'hypothèse à laquelle je crois devoir m'arrêter sur leur usage.

Les Pédicellaires, chez les *Oursins* comme chez les *Astéries*, sont rapprochées des pieds vésiculeux, et des tentacules respirateurs chez les *Astéries*.

Ces organes délicats, membraneux, que l'animal ne peut retirer dans sa cavité viscérale, avaient besoin d'être protégés contre les innombrables petits animaux dont la mer abonde.

Il me semble que l'on peut regarder les Pédicellaires comme des armes défensives, au moyen desquelles les *Oursins* et les *Astéries* repoussent les agressions de ces animalcules voraces de toute espèce, en les saisissant entre leurs pinces.

Aussi les *Oursins,* qui avaient le plus besoin de ces armes défensives, à cause de leur peu de locomotilité et de la roideur ou de l'immobilité des parties de leur squelette, en sont-ils le plus abondamment pourvus; tandis que les *Astéries,* plus mobiles, en présentent beaucoup moins dans les espèces qui en sont armées, et qu'un grand nombre en manque.

Dans l'état actuel de la science, il n'est plus possible de considérer les Pédicellaires, avec O. F. Müller, comme des

animaux parasites; pas plus que comme des *Oursins* ou des *Astéries* se développant à la surface de leurs parents, suivant l'hypothèse avancée par M. Agassiz en 1844, et qu'il paraît avoir complétement abandonnée en ce moment.

Les Pédicellaires n'existent pas seulement dans la classe des Échinodermes; un genre de l'ordre des *Polypes cellulaires* ou *ascidiens*, le genre Acamarchis LAMOUROUX, a une espèce, bien connue depuis ELLIS (*A. avicularis*) qui a, près de l'entrée de chaque cellule, un *appendice en forme de tête d'oiseau*, dont la mandibule inférieure se rapproche ou s'éloigne de la supérieure par des mouvements alternatifs, continuels, suivant les observateurs. Ces appendices, dont on n'a pas compris jusqu'à présent, à ma connaissance, ni l'usage, ni les analogies, sont les Pédicellaires de ces animaux (1).

---

(1) Voir la pl. 69, 2, de l'édition illustrée du Règne animal de Cuvier (Zoophytes); et, en premier lieu, Jean Ellis, dans son *Essai sur l'histoire naturelle des Corallines*, pl. XXXVIII, fig. 7, G, H, I, K, L, et pl. XX, 2, A; et la *Fauna pontica* de M. Nordmann, pl. 3.

QUATRIÈME PARTIE.

DES APPENDICES VÉSICULEUX LOCOMOTEURS, RESPIRATEURS ET TACTILES QUI GARNISSENT LES PIÈCES VERTÉBRALES DES RAYONS, CHEZ LES ÉCHINIDES.

L'un des systèmes d'organes les plus singuliers, les plus exceptionnels, qui distingue la plus grande partie des *Échinodermes* (les *Échinodermes pédicellés*) est, sans contredit, celui de ces vésicules cylindriques ou coniques, plus ou moins rétractiles et protractiles, qui paraissent dans certaines parties de la surface du corps de la famille des *Holothurides;* qui garnissent et limitent, de chaque côté, les aires ambulacraires ou les *séries vertébrales* des rayons, chez les *Échinides* et les *Astérides.*

MM. Tiedemann et Delle-Chiaje l'ont décrit et figuré avec détail, et après eux, M. Volkmann (1). — Je l'ai fait connaître dans le tome VI des *Leçons d'anatomie comparée* (2e édition), qui a paru en 1839, sous le nom de *Système vasculaire cutané locomoteur.*

Les différences que présente ce système, dans ses différen-

(1) Wiegmans archiv. 1838.

tes parties, ont besoin d'être étudiées de nouveau dans un certain nombre d'espèces des diverses familles naturelles. Celles qu'il m'a présentées dans l'*Oursin comestible* (Echinus esculentus) et dans le *Spatangue cœur* (Spatangus purpureus), me le persuadent.

§ VII.

Dans les *Oursins* proprement dits, et dans toute la famille des *Cidarides*, ce système vasculaire sous-vertébral ne paraît avoir que des appendices locomoteurs. Ces appendices, connus sous le nom de *pieds vésiculeux*, sont disposés en rangées régulières, qui vont, comme des méridiens, du bord de l'ouverture du squelette, qui est au pôle buccal, jusqu'à celle du pôle anal.

Leur structure musculo-membraneuse, la ventouse qui la termine, leur forme cylindrique, ou un peu élargie à leur base; les nombreuses fibres musculaires, disposées circulairement, qui constituent leur membrane moyenne, entre la peau qui les recouvre et leur membrane interne qui contient le liquide qui les pénètre, sont bien connus.

Dans l'*Echinus esculentus* où nous les avons étudiés, chacun de ces pieds communique avec une vessie correspondante, accolée à la même partie du squelette, par deux tubes obliques qui sont la continuation de leur membrane interne et des parois de la vessie, dans laquelle ils s'ouvrent. Ces tubes traversent deux canaux de même dimension, percés dans une des pièces vertébrales (1), de telle sorte que leurs

(1) Pl. III, fig. D.

orifices extérieurs sont plus rapprochés, et leurs orifices intérieurs plus écartés.

Tous les appendices vésiculeux de chaque rayon ont la même structure et le même usage.

Ce sont des pieds ou des organes préhensiles et locomoteurs, qui s'allongent considérablement par la contraction de leurs fibres circulaires, qui parviennent ainsi à dépasser ces piquants, et dont l'animal applique la ventouse aux corps environnants. Il s'avance vers ces corps par le raccourcissement de ces mêmes pieds, que produit la contraction de faisceaux musculeux longitudinaux que ces pieds renferment et qui s'attachent d'autre part à la pièce vertébrale correspondante à la ventouse.

La vésicule interne (*vr*) qui appartient à ce pied ne me paraît pas devoir contribuer à le raccourcir en le dilatant, par l'impulsion qu'une forte contraction des parois de cette vessie donnerait au liquide qu'elle renferme. L'idée qu'elle l'allongerait en y chassant ce même liquide, idée répétée dans tous les ouvrages, me paraît encore plus erronée.

Je n'ai pu découvrir dans les parois de cette vessie aucune fibre musculaire bien évidente. Le tissu de ses parois, vu à un faible grossissement, m'a paru uniquement granuleux et cellulaire, et non fibreux.

Chacune de ces vessies internes (fig. D *vr*) est un organe de respiration, de forme aplatie, triangulaire, dans l'étendue duquel se ramifient des canaux sanguins. Leurs principaux troncs sont en communication en dehors, par les deux conduits qui traversent le squelette, avec un pied vésiculeux; et, en dedans, avec une branche vasculaire (fig. D *br*), qui appartient au tronc qui parcourt toute l'étendue de la ligne

médiane d'un rayon pour s'ouvrir dans un anneau vasculaire central, situé autour de l'origine du canal alimentaire. Cet arrangement est bien connu.

Il y a, dans la structure de ces vessies, beaucoup d'analogie avec celle des lames branchiales des crabes.

Le fluide nourricier que renferme ce système de vaisseaux, de vésicules respiratrices et de pieds, s'y meut par les contractions et les dilatations de ces derniers appendices, qui sont, relativement à ce système, comme autant de cœurs, donnant l'impulsion au liquide qu'ils renferment, mais ne la recevant pas de lui.

Il y a dans les *Oursins,* et dans l'espèce, en particulier, que nous venons d'étudier, deux autres espèces d'appendices, situés au pôle buccal, mais qui ne font nullement partie du système vasculaire locomoteur et respirateur.

Les uns sont des appendices préhensiles, et sans doute tactiles; ce sont des tubes membraneux rétractiles et protractiles, au nombre de dix, rapprochés sensiblement par paires, qui ne communiquent pas avec la cavité viscérale, mais qui sont attachés à autant de plaques rondes calcaires, saillantes du côté interne.

Ces appendices ont l'extrémité libre terminée en godet, et pourraient bien servir principalement à fixer vers la bouche la proie que l'animal est occupé à dévorer.

L'autre sorte d'appendices, qui n'est pas liée immédiatement avec le système vasculaire cutané que nous venons de décrire, se voit, comme nous venons de le dire, au même pôle buccal que les précédents; mais plus loin de l'ouverture buccale, dans le bord de la peau qui remplit le vide en forme de rosette que laisse de ce côté la boîte osseuse.

Ces appendices sont de même au nombre de dix, rapprochés par paires entre deux angles de la peau buccale, qui correspondent aux espaces interambulacraires, ou aux deux séries costales appartenant à deux rayons; tandis que les cinq paires de la première sorte, ou les tentacules préhensiles, répondent aux séries vertébrales de chaque rayon.

Les derniers de ces appendices sont des tubes branchus dans leur partie libre, ayant les extrémités de ces branches percées, et s'ouvrant par leur tronc autour de la lanterne ou des arcs osseux qui font partie du squelette et du mécanisme compliqué de la mastication. On les regarde généralement comme les organes qui prennent au dehors le liquide respirable et le versent dans la cavité viscérale.

Ils appartiendraient, dans ce cas, au système d'organes vasculaires respirateurs et moteurs que nous avons décrit en premier lieu, mais sans avoir de connexion immédiate avec ce système.

Ainsi, les *Oursins* proprement dits, et, selon toute apparence, tous les genres de la famille des *Cidarides,* Agassiz, et de celle des *Galérides,* que nous proposerons, à la fin de ce travail, de démembrer de celle des *Cassidulides,* n'auraient, dans la partie vertébrale de leurs rayons, d'un pôle à l'autre, que des appendices moteurs (les pieds vésiculeux) de même structure, en liaison immédiate avec les vessies respiratrices internes et le système vasculaire sous-vertébral.

Nous proposerons de réunir ces Oursins dans une première section des Échinides, sous le nom d'*Homopodes.* Cette section comprendrait les familles des *Cidarides* et celles des *Galérides.*

§ VIII.

Avant d'examiner plus en détail, sous ce rapport, les quatre familles que MM. Agassiz et Desor viennent de reconnaître dans cet ORDRE des ÉCHINIDES, je dois décrire le même système d'organes vasculaires et respirateurs sous-vertébral, et les divers appendices externes dans le *Spatangue cœur*.

Ici les nouveaux points de vue sous lesquels nous avons étudié ce système nous ont conduit, si nous ne nous trompons, à une connaissance plus exacte de leurs différentes structures, de leurs rapports et de leurs fonctions, ainsi qu'à des conclusions importantes sur les familles naturelles de cet *Ordre*.

Il y a, dans le *Spatangue cœur,* appartenant au même système vasculaire et liés par les principales branches de ce système : 1° des pieds vésiculeux ou des appendices locomoteurs; 2° des appendices préhensiles et tactiles qui entourent la bouche à une grande distance; 3° des vessies branchiales ou respiratrices internes et externes.

Le système vasculaire est ici très-facile à reconnaître par sa couleur noire. Il se compose d'une partie centrale en forme d'anneau qui suit les contours de la bouche ou du pharynx, et de cinq troncs qui partent de cet anneau, en suivant la ligne médiane des cinq séries de pièces vertébrales, et conséquemment des cinq rayons.

Des cinq troncs vasculaires naissent à droite et à gauche, alternativement, des branches transversales, qui vont à la double série de vésicules internes et d'appendices vésicu-

leux externes qui sont attachés en dedans et en dehors de la partie vertébrale des rayons.

1° Les *pieds vésiculeux* du *Spatangue cœur* sont peu nombreux dans les quatre rayons qui ont des branchies externes. J'en ai compté douze à quatorze au plus par rayon, dans la paire la plus longue, et seulement dix dans la paire la plus courte.

Les pieds du rayon qui manque de branchies internes sont beaucoup plus nombreux; il y en a trente-quatre.

Leur forme est cylindrique, allongée. La ventouse qui les termine n'est pas en forme de disque, séparé du pied proprement dit par un étranglement.

On observe, à travers la peau très-mince et transparente qui les recouvre, une couche de fibres musculaires, ou plutôt de faisceaux musculeux, qui les entourent comme autant d'anneaux, et doivent les allonger en se contractant (1).

Chacun de ces pieds n'a qu'un seul canal de communication avec une petite vessie interne appliquée contre la paroi viscérale de la même pièce vertébrale du squelette. Ce même canal se continue dans une branche vasculaire qui se rend immédiatement dans le tronc commun qui règne depuis l'anneau buccal jusqu'au pôle génital, le long de la ligne médiane de chaque rayon.

Ce canal unique, tandis qu'il y en a deux dans les pieds vésiculeux des *Échinides* que nous appellerons *Homopodes*, n'est pas la seule différence que présente cet appareil dans les *Oursins* et les *Spatangues*. Les vessies sont plus petites, et leurs parois sont évidemment musculeuses; les fibres de cette

(1) Pl. III, fig. B et B'*p*.

nature y sont disposées dans différents sens, pour les contracter dans toutes les directions.

2° *Appendices tactiles.* Des appendices d'une autre nature, assez nombreux, garnissent chaque rayon à son origine autour de la bouche. Il y en a huit dans le rayon locomoteur, onze ou douze dans la paire antérieure, et six ou sept dans la paire postérieure des rayons respirateurs.

Ces appendices tactiles, ou ces tentacules, sont cylindriques ou un peu coniques, et terminés par un disque, au pourtour duquel sont implantées, en plus grand nombre, et sur lequel sont attachées en moindre nombre, beaucoup de papilles qui donnent à l'extrémité libre de ces tentacules l'aspect d'une houppe (fig. C t.). Chacune de ces papilles est conique et fixée par le sommet du cône ; elle est soutenue par un petit bâton calcaire de forme cylindrique.

La base du tentacule est fixée à une proéminence (*tb*, fig. C) de la pièce vertébrale correspondante. Il se compose de la continuation de la peau, de fibres circulaires très-peu prononcées, et de muscles longitudinaux qui vont du tubercule que venons d'indiquer au disque terminal.

Ce tentacule a, comme les pieds vésiculeux, un seul canal de communication avec une vessie interne (*vt*), plus volumineuse, mais de même structure que celles de ces pieds, et dans les mêmes rapports, par une branche vasculaire transversale (*br*), avec le tronc vasculaire vertébro-radial.

Nous ferons remarquer ici une très-grande différence entre les palpes de l'*Oursin comestible* et ceux du *Spatangue cœur*. Dans le premier, ils n'ont aucun rapport avec l'appareil vasculaire compliqué que nous décrivons; tandis que dans le dernier ils en font une partie essentielle.

3° *Appendices respirateurs.* La troisième espèce d'appendices que nous avons à décrire dans le *Spatangue,* est celle qui appartient à cette partie des quatre rayons dorsaux qui dessinent autant de pétales.

Ces appendices sont des branchies externes (1), de forme triangulaire, circonscrites par deux canaux principaux qui en font le tour, et qui communiquent encore entre eux, par un certain nombre de branches transversales, plus ou moins divisées en rameaux.

Chacune de ces branchies externes se continue par deux canaux membraneux, qui traversent obliquement deux canaux osseux de la pièce vertébrale (*pv*) correspondante, avec une branchie interne beaucoup plus considérable, mais de même structure; et celle-ci a sa branche vasculaire transversale qui se rend dans le tronc radial commun (2).

Ces vessies, ainsi que les vaisseaux du même système, renferment un sang noir, composé de nombreux globules (3), de forme lenticulaire, ayant chacun un noyau considéra-

---

(1) Pl. III, fig. A. Cette figure représente les deux branchies, ou vessies respiratrices interne (*vr*) et externe (*vr'*) correspondantes, et leurs rapports.

(2) La fig. E donne une idée nette de l'ensemble des branchies internes, appartenant aux quatre rayons. On y verra qu'elles n'ont pas un égal développement, et que leur étendue est proportionnée à l'espace qu'elles peuvent occuper depuis les trous de communication, jusqu'à la ligne médiane du rayon. Elles disparaissent plus tôt vers le pôle génital, du côté antérieur de chaque rayon, que dans la rangée opposée. J'en ai compté vingt et une dans la rangée antérieure, et quatre ou cinq de plus dans l'autre.

(3) Fig. J.

ble, qui paraît contenir plus particulièrement la matière colorante. Ces globules ressemblent beaucoup à ceux observés par M. de Quatrefages dans la *Synapte de Duvernoy*. Leur diamètre est de $0^{mm},008$.

Ainsi, les trois espèces d'appendices que nous venons de décrire dans le *Spatangue* appartiennent à un même système vasculaire, contenant un sang à globules noirs.

Ces appendices sont modifiés pour trois usages différents, la locomotion, le toucher et la respiration.

CONCLUSIONS.

Si je ne me trompe, voici les améliorations dans les idées, et par suite dans la nomenclature, dans la classification des *Échinides* et dans leur physiologie, que les observations anatomiques dont il est question dans ce Mémoire, pourront introduire dans la science.

1° Chaque rayon d'*Oursin* ou d'*Échinide* se composant, dans sa partie moyenne, de deux séries de pièces osseuses vertébrales, portant des pieds vésiculeux, ou des branchies externes, il sera plus exact de nommer cette région *vertébrale,* que de l'appeler *ambulacraire.*

2° La région dite *interambulacraire* sera la *région costale,* composée de deux séries de côtes appartenant aux deux rayons voisins. Cette région, dans les *Échinides,* ne porte que des piquants et n'a pas d'appendices vésiculeux.

3° L'ordre des *Échinides*, dans la méthode que je propose, se diviserait en deux sections : celle des *Échinides homopodes,* dont la région vertébrale est uniforme dans chaque rayon, et n'a, d'un pôle à l'autre, que des pieds vésiculeux ;

Et celle des *Échinides exobranches,* qui ont tous une rosette à cinq ou quatre pétales, plus ou moins prononcés, dans la face dorsale et la partie vertébrale de leurs rayons, et des branchies externes, au lieu de pieds vésiculeux dans cette partie.

Dans les *Échinides* de cette dernière section, il y a une double série de trous dans les pièces vertébrales, qui dessinent les contours des pétales; tandis que dans le reste de la partie vertébrale des rayons, qui porte les pieds vésiculeux ou les appendices tactiles, chacun de ces appendices ne répond qu'à un seul trou percé de même dans une seule pièce vertébrale.

4° La première section comprend deux familles : celle des *Cidarides,* telle que MM. Agassiz et Desor l'ont circonscrite; et celle des *Galérides,* que j'ai proposé de démembrer des *Cassidulides* des mêmes auteurs ; elle se composerait des *Échinides* de cette famille que MM. Agassiz et Desor appellent à *ambulacres simples ;* c'est-à-dire qu'ils manquent de rosette dorsale, et conséquemment, d'après nous, de branchies externes.

Déjà M. Desor, dans sa Monographie du genre *Galérite,* avait fait pressentir les rapports qui existent entre ce genre et les *Cidarides*. L'anatomie, qui m'a fait apprécier le caractère important indiqué par la présence de cette rosette, m'a de suite conduit à l'intelligence et à l'appréciation organique et physiologique de ce rapport, et à mieux classer ce groupe des *Cassidulides*.

5° Notre seconde section des Échinides comprendrait :

A. La famille des *Cassidulides,* qui ne se composerait plus

que des genres à rosette dorsale, c'est-à-dire à branchies externes;

B. La famille des *Clypéastroïdes;*

C. Et celle des *Spatangoïdes,* telles que MM. Agassiz et Desor les ont circonscrites et caractérisées.

6° L'accroissement des piquants me paraît avoir lieu par époques et par couches, qui se recouvrent successivement au moyen d'un périoste sous-cutané. (Voir la 2e partie, page 608.)

7° Les *Échinides homopodes* ayant un grand nombre de pieds vésiculeux, qui répondent à autant de branchies internes, ces pieds doivent être leurs principaux organes du mouvement.

M. Tiedemann a vu l'*Echinus saxatilis* s'élever, au moyen de ces pieds, le long des parois verticales des bocaux dans lesquels il les conservait.

8° Dans les *Échinides exobranches*, le nombre des pieds vésiculeux est petit, les piquants sont plus nombreux, leur articulation mieux affermie. Ces piquants me paraissent devoir être, pour les Échinides de cette section, les principaux organes moteurs.

9° Leurs branchies externes, qui existent simultanément avec les branchies internes, contribuent sans doute à une oxygénation plus complète de leur sang, et à donner aux muscles des piquants plus de puissance.

10° Leur sang est noir et composé de nombreux globules, variant un peu dans leur diamètre, ayant un gros noyau au milieu, qui renferme plus particulièrement leur substance colorante, comme dans les animaux supérieurs.

11° Les pieds vésiculeux et les branchies correspondantes dans les *Échinides homopodes* forment, avec les branches

vasculaires et les troncs médians des rayons auxquels ces branches se réunissent, et l'anneau vasculaire circumpharyngien dans lequel s'ouvrent les cinq troncs radiaux, un système sanguin moteur et respirateur, dans lequel le sang doit avoir un mouvement de va-et-vient, qui lui est imprimé par les contractions et les dilatations des pieds vésiculeux.

Les vessies respiratrices ne me paraissent pas y contribuer, quoiqu'on leur ait attribué jusqu'ici l'érection des pieds vésiculeux.

12° Les organes de respiration externes et internes des *Échinides exobranches* appartiennent au même système vasculaire, mais ne contribuent pas au mouvement du sang dans ce système.

Les pieds vésiculeux, au contraire, ainsi que les appendices tactiles, qui font partie de ce même système, et dont la vessie interne correspondante à chacun de ces appendices a des fibres musculaires évidentes, sont ici les organes d'impulsion du fluide nourricier.

13° Les Pédicellaires sont des organes de défense des *Échinides* et des *Astérides* qui en sont pourvues.

Ils préservent des attaques des myriades d'animalcules voraces qui abondent dans la mer, les pieds vésiculeux et autres appendices membraneux de ces animaux.

Ces organes paraissent avoir des formes différentes dans chaque espèce.

Ils ont des caractères distinctifs généraux dans les *Échinides,* chez lesquels leur pince a constamment trois branches, et dans les *Astérides*, où elle n'en a plus que deux, ainsi que l'ont déjà dit MM. J. Müller, Troschel.

Leur pédicule a d'ailleurs une tige calcaire dans les Échinides, qui manque dans les Astérides.

Ce pédicule peut même disparaître entièrement dans ces dernières.

Les différentes formes de *Pédicellaires* qu'on observe dans un même individu, sont le plus souvent différents degrés de développement de ces organes.

14° Les organes en forme de tête d'oiseau de certains *Polypes cellulaires*, sont les Pédicellaires de ces animaux. (Voir page 624.)

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE I.

Fig. 1. Coupe transversale d'un rayon d'*Asteracanthion glacialis*, J. M. et T.

Fig. 2. Même coupe de l'*Asteriscus palmipes*, J. M. et T.

Fig. 2 *bis*. L'une des paires de piquants (*e''*) grossie.

Fig. 3. Même coupe de l'*Echinus esculentus*, L.

Dans ces trois figures principales :

a et *b* sont les pièces vertébrales.

c, une pièce costale.

d, série de pièces destinées à soutenir les piquants; elles sont rapprochées dans l'*Oursin* et séparées dans les *Astéries*.

e, *e'*, *e''*, sont les piquants.
p, *p*, les pieds vésiculeux.
v, *v*, les vessies internes qui répondent à ces pieds.
e' et *e''*, fig. 2, sont les deux séries de piquants, arrangés et articulés par paires sur un même tubercule, en dehors de la série des pieds vésiculeux d'un même côté, et pouvant former la pince, pour protéger ces pieds, en place des *Pédicellaires*, qui manquent dans cette espèce. (*Voir* p. 610.)

PLANCHE II.

Pédicellaires des *Oursins* et des *Astéries*.

Fig. I. *a*, *a'*, *b*, *c*, Pédicellaires de l'*Oursin comestible* (Echinus esculentus, L.)

Fig. II. *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, Pédicellaires de l'*Echinus miliaris*.

Fig. III. *a*, *b*, *b'*, *c*, *d*, Pédicellaires du *Spatangus purpureus*.

Fig. IV. *a*, *b*, Pédicellaires de l'*Asteracanthion glacialis*, face dorsale.

Fig. V. *a*, *b'*, *b''*, *b'''*, Pédicellaires de la même espèce, face abdominale.

Fig. VI. Pédicellaires de l'*Asteracanthion rubens*, face ventrale, près des pieds vésiculeux.

PLANCHE III.

Fig. G. 1, 2, 3. Détails de l'articulation d'un piquant du *Spatangue cœur*.

Fig. H. 4. Mêmes détails pour l'*Echinus esculentus*. (Voir p. 606-608.)

Fig. A, B, B', C, E, F. Sont relatives aux pieds vésiculeux, aux appendices tactiles, aux appendices respirateurs et aux branchies du *Spatangue cœur* et de l'*Oursin comestible*.

Dans toutes ces figures, (*vr*) indique une vessie respiratrice ou une branchie interne; (*vr'*), une branchie externe; (*pv*), la pièce vertébrale percée par un ou deux canaux, qui vont d'une vessie interne, respiratrice ou non respiratrice, à une branchie externe, à un appendice tactile ou à

un pied vésiculeux ; (*br*) est une branche vasculaire qui va d'une vessie interne au vaisseau médian de chaque rayon, dont la coupe est marquée (*c*).

Dans la figure B, on voit un pied vésiculeux (*p*) qui communique avec une vessie interne (*vp*) par un canal unique, percé à travers la pièce vertébrale (*pv*). La figure B' est l'un des pieds de l'abdomen, comme celui de la figure B, mais moins contracté ; (*d*) est son extrémité fixe, et (*e*) son extrémité libre. Cette figure devrait être dans une position verticale.

La figure C représente un des appendices tactiles, tels qu'on les voit autour de la bouche du *Spatangue cœur* : (*t*) est cet appendice ; (*tb*) le tubercule de la pièce vertébrale (*pv*) auquel il s'attache ; (*vt*) la vessie interne qui correspond avec cet appendice par un canal unique.

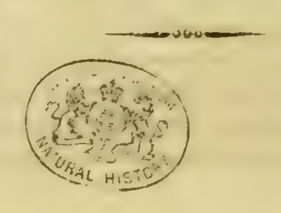
La figure E montre la paroi interne supérieure, et F la face interne inférieure de la boîte osseuse du *Spatangue cœur ;* on a marqué, par les chiffres 1-21, les branchies internes des quatre rayons, qui répondent aux branchies externes. Ces branchies internes ont été dessinées avec beaucoup de soin dans leurs proportions relatives.

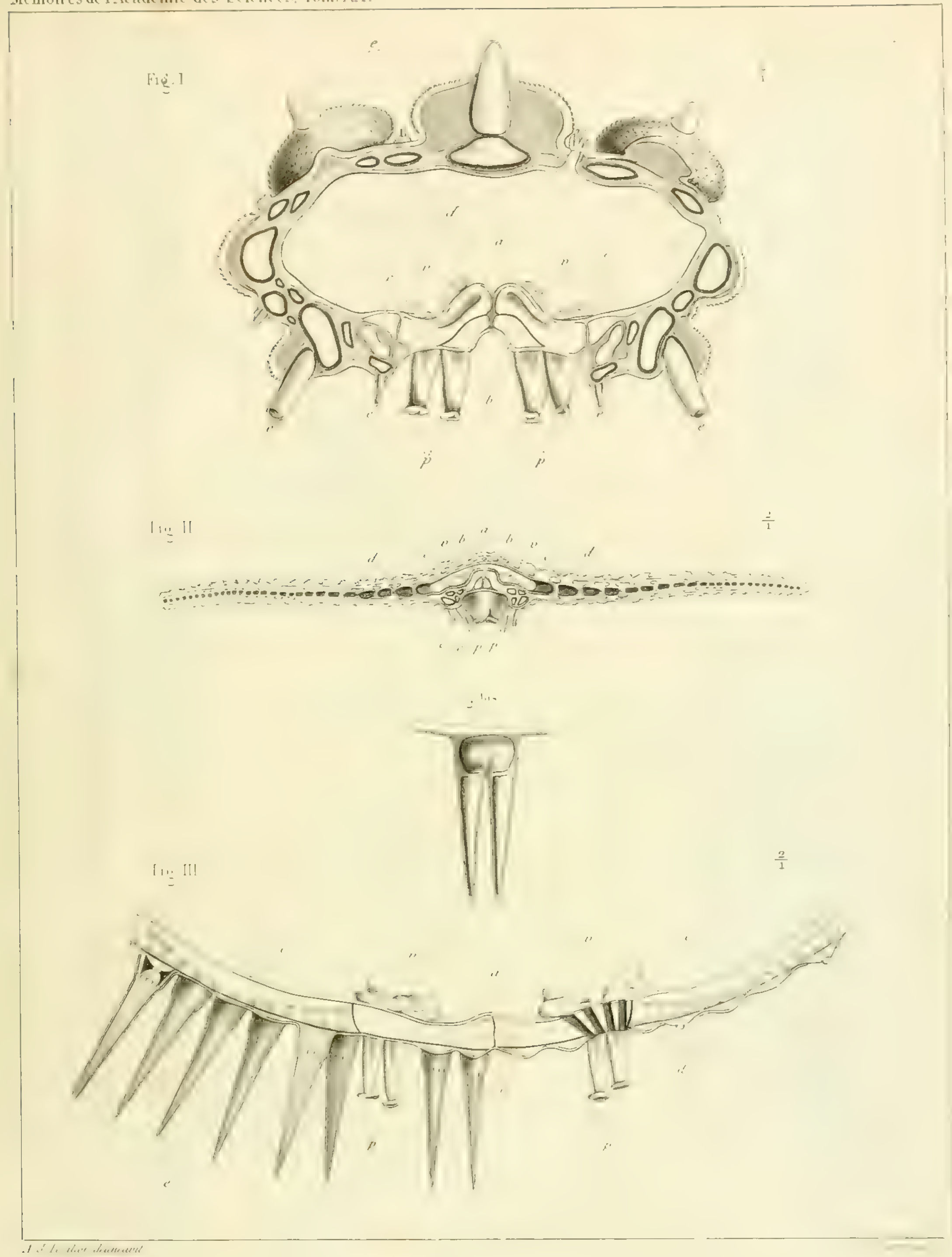
Les vessies des pieds du rayon médian sont au nombre de 17 de chaque côté, dont les deux premiers se voient au plancher de la boîte osseuse (fig. F), et les autres au plafond de cette même boîte (fig. E).

Les rayons postérieurs en ont cinq d'un côté, à ce même plancher, et deux à la voûte, indiquées par les chiffres 1-7.

Ces vessies et les pieds qui leur correspondent sont encore en plus petit nombre dans les rayons pairs antérieurs.

Dans les cinq rayons, les vessies les plus rapprochées de la bouche appartiennent aux appendices tactiles (fig. C). Elles sont au nombre de neuf dans le rayon antérieur impair ; de onze dans chaque rayon pair antérieur, et de sept dans chaque rayon pair postérieur, indiquées par ces chiffres (fig. F).





Pièces correspondantes du Squelette des ASTERIES et des OURSINS



Fig V b

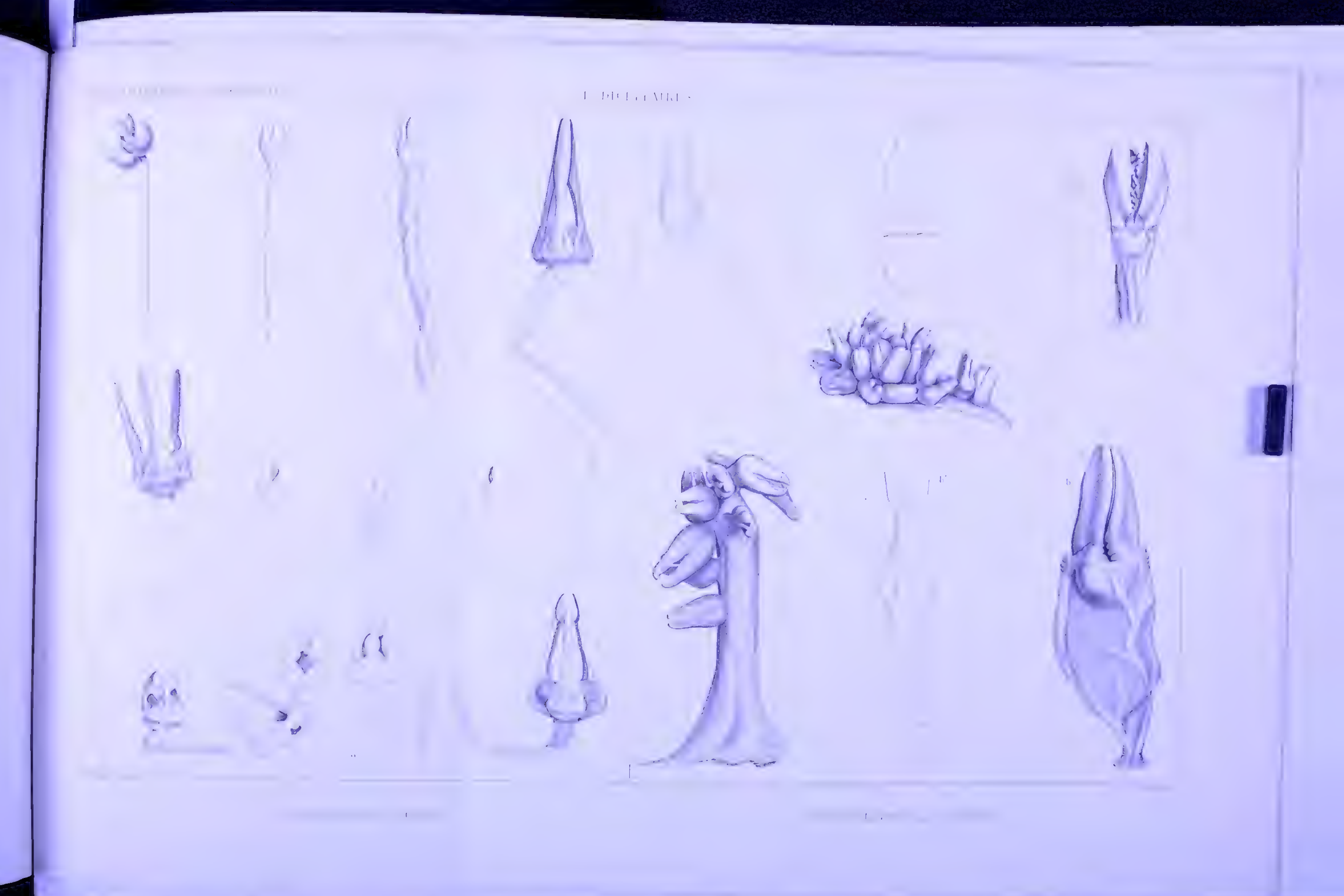
Fig IV a

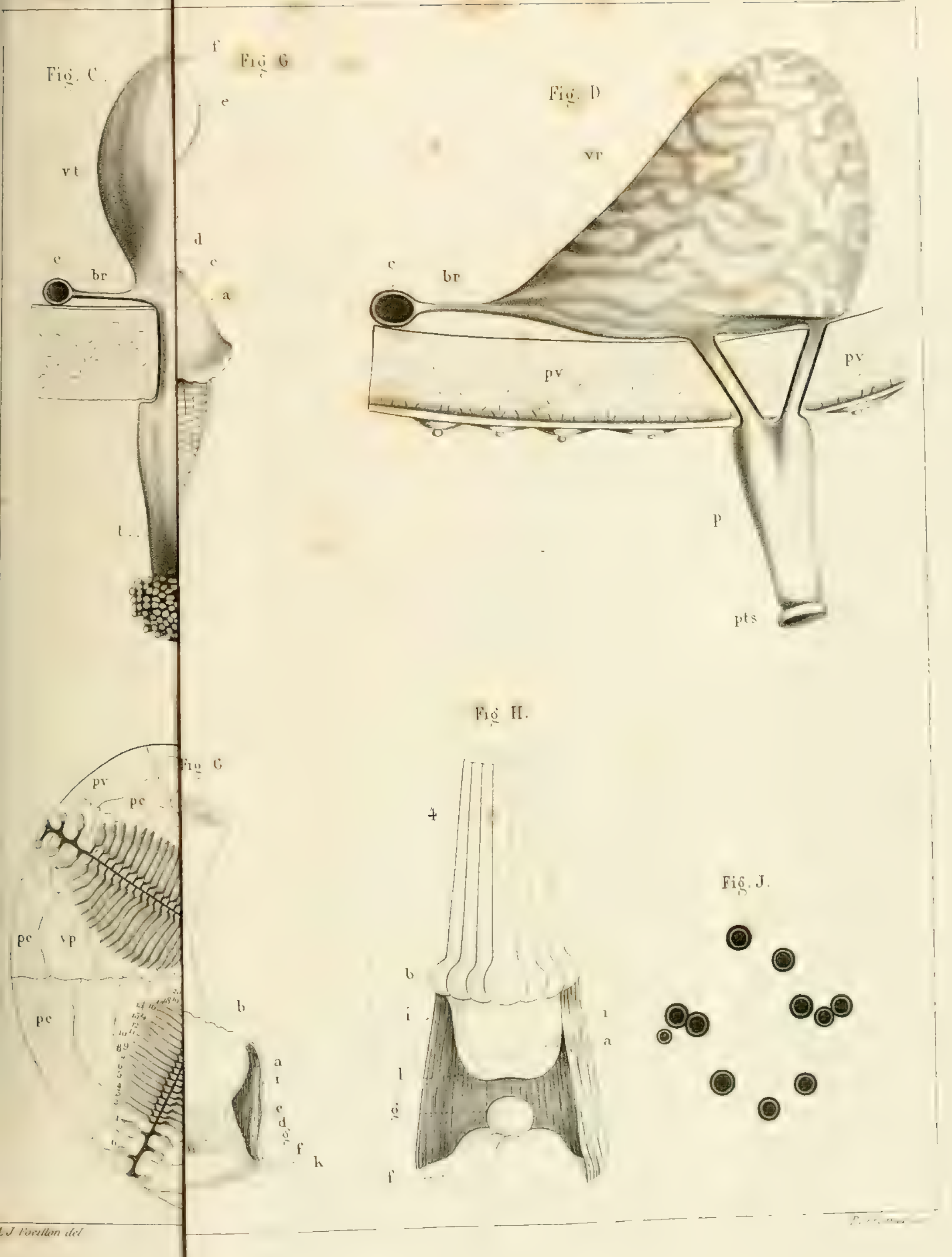
Fig IV b

Fig V

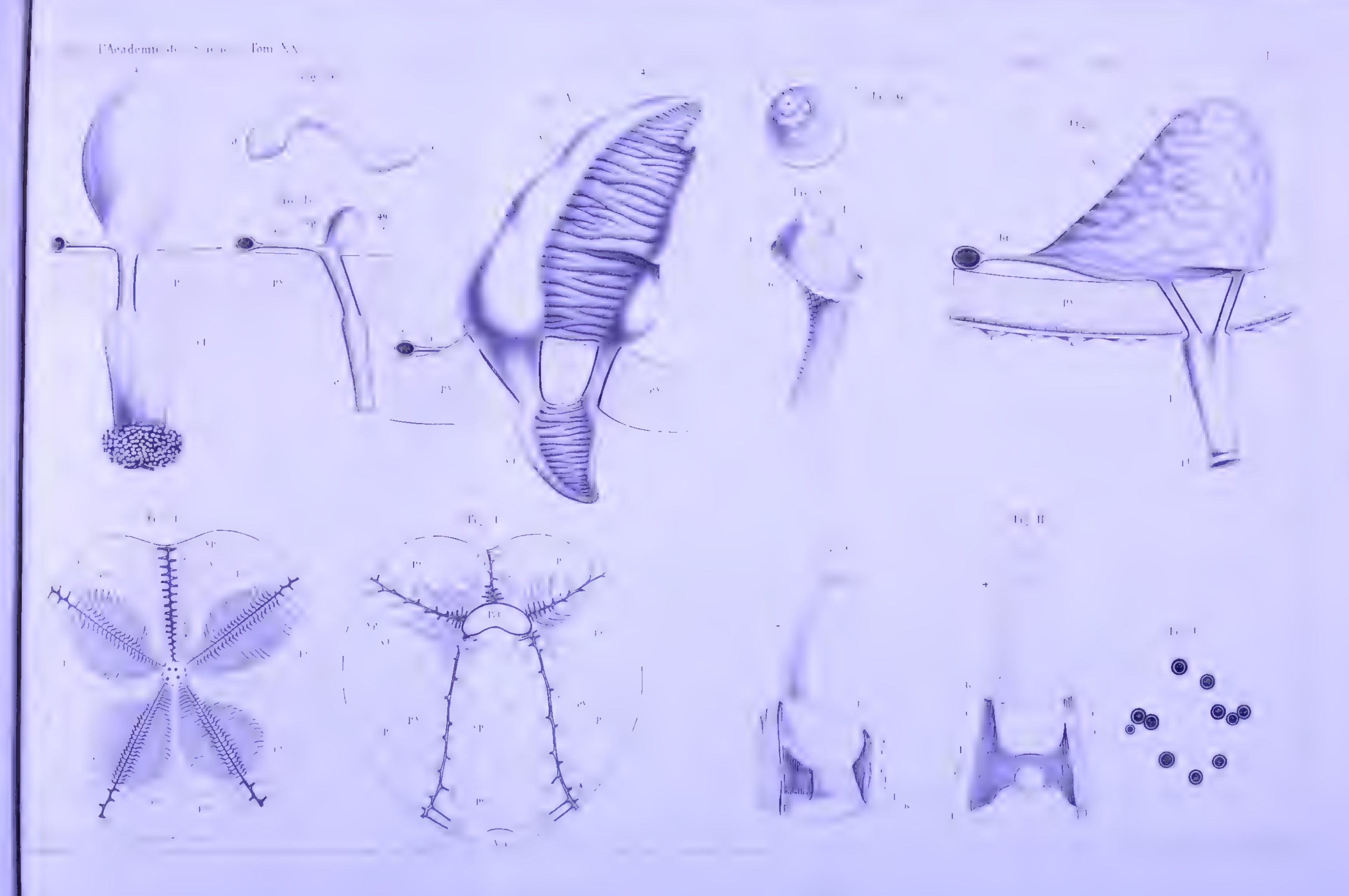
A J Focillon delineavit

PÉDICELLAIRES des ASTÉRIES





A. J. Vocillon del.



Appendices tactiles locomoteurs et respirateurs des ECHINIDES